

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМ. І.  
СІКОРСЬКОГО”

Теплоенергетичний факультет  
Кафедра автоматизації теплоенергетичних процесів

«На правах рукопису»  
УДК 681.51

«До захисту допущено»

**Завідувач кафедри**

\_\_\_\_\_ / *В.А.Волощук* /  
“       ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

**Магістерська дисертація**  
на здобуття ступеня магістра

за  
спеціальністю

***151 “Автоматизоване управління  
технологічними процесами”***

на  
тему:

Автоматизація мультизональної системи кондиціонування

**Виконав:**

студент \_\_\_\_\_ І \_\_\_\_\_ курсу, групи \_\_\_\_\_ **ТО-81мп**  
\_\_\_\_\_ **Ковальчук Ганна Олексіївна**

(прізвище ім'я, по батькові)

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Науковий  
керівник**

\_\_\_\_\_ **ст.викл. Некрашевич О.В.**

\_\_\_\_\_ (посада, вчене звання, науковий ступінь,  
прізвище та ініціали )

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Рецензент**

\_\_\_\_\_ (посада, вчене звання, науковий ступінь,  
прізвище та ініціали )

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті  
немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2019 року

# ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ .....	3
ВСТУП.....	5
1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРОБЛЕМИ .....	7
1.1 Кліматичні системи: технічні особливості.....	7
1.2 Головні критерії при виборі системи кондиціонування для приміщень різних параметрів .....	8
1.3 Класифікація систем кондиціонування .....	13
РОЗДІЛ 2. ОПИС ОБ'ЄКТУ УПРАВЛІННЯ .....	20
2.1 Характеристика сучасної мультизональної системи кондиціонування .....	20
2.2 Задачі автоматизованої системи управління .....	22
2.3 Контроль параметрів.....	22
2.4 Технологічний захист.....	23
2.5 Особливості роботи системи.....	23
2.6 Робота VRF при низьких температурах .....	24
2.7 Принцип роботи мультизональної системи .....	27
2.8 Компресори постійного струму .....	34
Висновки.....	40
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТОМ .....	41
3.1 Системний підхід до оптимізації мультизональних систем кондиціонування .....	41
3.2 Розрахунок параметрів регулятора .....	46
3.3 Моделювання і синтез АСР.....	56
3.4 Імітаційне моделювання .....	60
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ .....	63
4.1 Опис ідеї проекту .....	63
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	69
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту .....	71
4.3.1 Огляд ринку.....	71
4.3.2 Огляд цільової аудиторії .....	74
4.3.3 SWOT аналіз.....	74
4.5 Розробка маркетингової програми стартап-проекту .....	77
4.5.1 Визначення меж встановлення ціни .....	77

4.5.2 Формування системи збуту .....	77
4.6 Висновки.....	77
ВИСНОВКИ .....	79
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	81
ДОДАТОК А.....	83

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ТОК – технологічний об’єкт керування;

САР – система автоматичного регулювання;

АСК – автоматизована система керування;

ТЗА – технічні засоби автоматизації;

АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом;

СКП – системи кондиціонування повітря;

VRF – Variable Refrigerant Flow;

VRV – Variable Refrigerante Volume;

ТРВ – терморегулюючий вентиль;

ВП – вимірювальний пристрій;

ВМ – виконавчий механізм

ПД-регулятор – пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор;

МАЧХ – максимум амплітудно-частотної характеристики;

ПЛК – програмований логічний контролер.

.

## ВСТУП

Кондиціонування повітря – важливий фактор для створення ідеального мікроклімату в приміщенні

Кондиціонер - кліматичне обладнання, здатне створити і автоматично підтримувати в приміщенні заданий рівень вологості, температури, швидкості руху повітря і його чистоти. Цей пристрій використовується для створення сприятливого мікроклімату в будинку або на робочому місці.

Установка кондиціонера - турбота про власне здоров'я і комфорт. Сучасні кондиціонери якісно очищають повітря від пилу, пилку, шкідливих часток, що особливо актуально в мегаполісах. Видаляючи з повітря зайву вологу, це обладнання попереджає появу грибка і цвілі. Варто відзначити, що ефективність сучасного приладу дуже висока, а рівень шуму незначний.

Особливу увагу варто приділити мікроклімату в робочих приміщеннях. Працездатність людини істотно знижується в некомфортних умовах. Спека або холод, задуха і надмірна вологість безпосередньо впливають на продуктивність праці. Мало того, дослідження показують, що при високих температурах швидко погіршується психічний стан співробітників, знижується робочий ритм та зростає ризик травматизму. Саме тому потрібно уважно поставитися до контролю над температурою і рівнем вологості, а також подбати про подачу свіжого повітря в приміщення.

Чистота повітря в будинку повинна стати предметом особливої турботи будь-якої людини, хто замислюється про своє здоров'я. Наявність природної вентиляції не вирішує проблему нормального повітрообміну в квартирі. Крім того, не варто забувати про безперервне пилоутворення - в міських умовах повітря не може бути чистим. Кондиціонер забезпечений фільтром, здатним затримати дрібні частки, і в квартиру надходить свіжий і чисте повітря, що сприятливо впливає на організм. Продуктивність фільтра - показник відсотка частинок, які він затримує. Залежно від конкретних умов вибирається фільтр, максимально відповідний за продуктивністю.

Дуже важливий контроль вологості. Опалювальний сезон традиційно пов'язаний зі значним зниженням рівня вологості в приміщеннях. Надмірно сухе повітря негативно впливає на роботу всіх систем організму, стан шкіри,

слизових оболонок, очей. Знижується імунітет, відповідно, зростає захворюваність. Оптимальний рівень вологості повітря в будинку становить (40-60)%. За допомогою кондиціонера можна його підтримувати круглий рік.

Таким чином, кондиціонування повітря - найбільш простий і доступний спосіб створення ідеального мікроклімату.

# **1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРОБЛЕМИ**

## **1.1 Кліматичні системи: технічні особливості**

Кондиціонування комерційних приміщень - це створення певних норм повітря (вологості, температури) всередині будівель в автоматичному режимі. Системи клімату для промислових приміщень включають в себе комплексне забезпечення площ вентиляцією та кондиціонуванням, дозволяють встановити кілька норм і режимів відразу.

Установки кондиціонування для промислових приміщень мають кардинальні відмінності від систем побутового використання. Їх розробляють індивідуально для кожного приміщення, з огляду на особливості будівлі та призначення простору.

Все обладнання з підтримки мікроклімату класифікують на наступні групи:

- Побутові;
- Напівпромислові;
- Промислові.

В першу групу потрапили всі апарати, які встановлюють для експлуатації в приміщеннях, площею до (70 – 100) м<sup>2</sup>. Це можуть бути магазини або офіси. Тут встановлюють, як правило, спліт-системи і мультиспліт-системи потужністю до 10 кВт.

До другої групи агрегатів відносяться всі системи понад 10 кВт. Це каналні, колонні, касетні і інші типи кондиціонерів. Їх потужність складає (10 – 15) кВт. Площа охоплення може доходити до 400 м<sup>2</sup>. Подібні типи кондиціонерів встановлюють в більшості випадків в офісних приміщеннях.

До третьої групи відносять системи промислової вентиляції та кондиціонування. Це установки потужністю понад (20 – 25) кВт. Це мультизональні серії VRV і VRF, системи центрального кондиціонування, чиллер-фанкойл, прецизійні та інші типи кондиціонерів. Такі типи кліматичних систем, обслуговують офісні будівлі, спортивні комплекси, торгові центри, приміщення адміністративного призначення.

## **1.2 Головні критерії при виборі системи кондиціонування для приміщень різних параметрів:**

- Серверні, комп'ютерні кімнати.

На сьогоднішній день запити до організації особливого клімату серверних кімнат та приміщень спеціального призначення значно зросли. До них відносяться центри передачі та обробки інформації, телефонні вузли зв'язку.

Для серверної з невеликою площею, підійдуть напівпромислові і промислові кондиціонери. При необхідності в установці системи, яка охолоджує повітря при негативних температурах, кондиціонери для серверних адаптують для роботи на охолодження, при зовнішніх температурах до  $-45^{\circ}\text{C}$ . Експлуатація спліт-систем або напівпромислових кондиціонерів із зимовим комплектом дозволяє уникнути додаткових витрат.

Головне, що потрібно врахувати - система повинна працювати при різких перепадах температури від  $+40$  до  $-45^{\circ}\text{C}$ . Пріоритетом у виборі повинні стати надійність і здатність працювати в будь-яких режимах.

- Офіси, торгові павільйони, магазини.

Перш ніж приступити до вибору системи кондиціонування в магазині або офісі, потрібно визначитися з необхідною продуктивністю установки. Кількість торгового обладнання та іншої техніки в приміщенні безпосередньо впливають на вибір потужності кондиціонера для магазину.

У забезпеченні сприятливого мікроклімату невеликого офісного або торгового приміщення ідеальним рішенням може стати настінна спліт-система. Для створення комфортної температури в великому магазині краще встановити каналний, стельовий кондиціонер або мультиспліт-систему з внутрішніми блоками касетного типу.

- Спортивні зали, фітнес-клуби.

Вимоги для систем охолодження і вентиляції спортивних комплексів або фітнес-центрів мають свої особливості. Наявність хорошого спортивного інвентарю - це не все, що потрібно для успішної роботи спортивного клубу. Вибір якісної системи кондиціонування безпосередньо впливає на самопочуття відвідувачів. Важливо, відсутність задушливого запаху, протягів і



духоти. Запорука правильного мікроклімату - правильно підібрана система вентиляції та охолодження повітря.

Для створення комфорту в приміщенні для занять спортом, необхідно:

1. усувати відпрацьоване повітря;
2. забезпечувати спортивний зал свіжим повітрям;
3. обмежити появу протягів;
4. підтримання комфортної температури.

При плануванні такої системи потрібне правильне розташування вентиляційних решіток. Вони повинні бути спроектовані таким чином, щоб у фітнес-залі були відсутні протяги. Пріоритетом для спортклубів є каналні системи кондиціонування і вентиляції, які забезпечують рівномірний розподіл повітряного потоку і подачу припливного повітря в повному обсязі. Також, такі системи дозволяють швидко охолодити внутрішню територію просторів.

• Кафе, ресторани, пункти громадського харчування.

Основним завданням кондиціонування подібних приміщень є підтримання необхідної температури відразу в декількох кліматичних зонах:

1. Кухня і гарячий цех;
2. Зали кафе і барів;
3. Адміністративні і побутові приміщення.

Всі описані вище кліматичні зони мають різні характеристики. У кожної території свої вимоги до кондиціонування. Вибрати потрібну кліматичну систему самостійно - складне завдання. Крім того, при проектуванні схеми кондиціонування кафе чи ресторану, слід враховувати вимоги санітарних норм.

Для залу кафе чи ресторану більше підійде спліт-система касетного або каналного типу. Її можна заховати за інтер'єром стелі, і вона не порушить зовнішній вигляд залу. Як правило, подібні кондиціонери встановлюють в центрі приміщення, тим самим, забезпечуючи рівний температурний режим.

Мультизональна система або чиллер?

Все частіше при виборі системи кондиціонування великого за площею об'єкта виникає питання: «Що краще? Мультизональна система або чиллер-

фанкойл?"[]]. Постараємося розкрити основні переваги та недоліки даних кліматичних систем.

#### - Короткі визначення

Чиллер - водоохолоджувальна машина, що використовує парокомпресійний або абсорбційний цикл. Система «чиллер-фанкойл» - централізована система кондиціонування, теплоносієм в якій служить звичайна вода або етиленгліколь (рідина, що не замерзає). У складі будь-якої системи «чиллер-фанкойл» присутній гідромодуль - насосна станція для підтримки циркуляції теплоносія між чиллером і системою фанкойлів.

Мультизональна система - централізована клімат-система, що використовує парокомпресійний цикл, що працює за принципом змінної витрати холодоагенту (VRF - Variable Refrigerant Flow). Система складається з зовнішнього блоку і безлічі внутрішніх блоків, кожен внутрішній блок може управлятися централізовано або локально. За рахунок застосування інверторної технології, досягається суттєва економія електроенергії, споживаної зовнішнім блоком, так як частота обертання компресора (що безпосередньо пов'язано зі споживанням електроенергії) залежить від кількості працюючих внутрішніх блоків. Це як раз той випадок, коли інверторна технологія дозволяє економити багато ресурсів.

#### - Переваги і недоліки

##### 1. Ціна

На даний момент чиллери все ще утримують пальму першості на ринку комерційного холодопостачання. Чиллери з'явилися набагато раніше ніж мультизональні системи, тому багато проектувальників "звикли" до них. Також, початкові витрати на придбання та монтаж системи «чиллер-фанкойл» обійдуться на 25-40% дешевше ніж мультизональна система, виходячи з розрахунку на 1 кв.м. площі.

Серед виробників мультизональних систем традиційно лідирують японські виробники, хоча на даний момент на ринку також влаштувалися китайські виробники, що пропонують досить якісний продукт.

##### 2. Чиллер доцільно застосовувати для об'єктів зі стабільно великою потребою в холоді

Недоліком системи «чиллер-фанкойл» є більш високе енергоспоживання (крім абсорбції), ніж у мультизональних систем, так як чиллер є більш інерційним агрегатом. Тому чиллери доцільно застосовувати в тих випадках, коли постійно необхідна велика кількість холоду (супермаркети, великі торгові зали, центри обробки даних).

### 3. Переваги алгоритму роботи мультизональної системи зі змінною витратою холодоагента

Алгоритм роботи мультизональної системи заснований на принципі змінної витрати холодоагента, це означає, що компресор видає рівно ту кількість холодоагенту, яке необхідно в даний момент, виходячи з показників датчиків внутрішніх блоків.

Наприклад, маємо офісний центр, в якому не зайняте 20% площі, відповідно ця площа не вимагає охолодження/обігріву. Якщо внутрішні блоки вимкнені або налаштовані на мінімальну продуктивність, то зовнішній компресорно-конденсаторний блок буде споживати на 20% менше відповідно. Основним споживачем електроенергії в мультизональних системах є компресор (близько 95%), тому плавне частотне регулювання (інверторне) частоти обертання компресора в залежності від потреби в холоді/теплі дозволяє скоротити енергоспоживання мультизональної системи на 40% в порівнянні з чиллером.

Також варто відзначити, що в сучасних мультизональних VRF-системах внутрішні блоки можуть включатися і працювати незалежно один від одного, причому частина в режимі охолодження, а частина в режимі опалення, що дуже важливо в міжсезоння, коли з сонячної сторони - жарко, а з північної - холодно. Коли внутрішні блоки працюють в різних режимах, мультизональна система використовує тепло для перетворення його в холод і навпаки, так званий режим утилізації тепла.

Мультизональна система більш гнучка по керованості, всі компресори управляються інверторами, тому при довгостроковій експлуатації (більш ніж 5 років) система в цілому буде більш енергоефективною.

#### 4. Обмежена довжина фреонамагістралі

До недоліків мультизональних систем можна віднести обмежену потужність (до 1,6 МВт) та обмеження по фреонамагістралям. Сумарна довжина фреонамагістралі не повинна перевищувати 1000 м, найдовша ділянка від зовнішнього до внутрішнього блоку повинна бути не більше 165 м, перепад висот не більше 90 м.

#### 5. Два в одному: опалення + кондиціонування

До переваг мультизональних систем також можна віднести той факт, що навіть стандартна мультизональна система кондиціонування здатна працювати в режимі обігріву при  $-15^{\circ}\text{C}$ .

Тому застосування даної системи дозволяє отримати повноцінну систему кондиціонування та опалення, причому витрати на опалення будуть значно нижче в порівнянні з централізованим опаленням або звичайним газовим котлом.

Підсумовуючи, однозначно все ж не можна дати відповідь на це питання, так як відповідь залежить від багатьох факторів, що визначаються індивідуально для кожного об'єкта і залежать від технічних, економічних, а також санітарних вимог замовника. Але все ж таки якщо на етапі вибору головним аспектом є площа приміщення і режими, які необхідно в них підтримувати в залежності від пори року, то слід дотримуватися такої думки, що для великих торгових залів (понад 2000 кв.м.) доцільно застосовувати систему «чиллер-фанкойл», яка спільно з приточно-витяжною вентиляцією і газовою котельною здатні забезпечити об'єкт холодом в літню пору, теплом в зимовий і цілий рік свіжим повітрям.

Для офісних центрів, ресторанів будівель з великою кількістю приміщень, що потребують роздільного регулювання температури доцільніше застосовувати мультизональні системи. За допомогою мультизональної системи можна забезпечити кондиціонування об'єкта будь-якої площі, так як зовнішні блоки об'єднуються каскадно, тобто необхідна потужність набирається шляхом установки N-ї кількості зовнішніх блоків. Слід сказати що загальна система управління каскадом зовнішніх блоків задіює тільки

необхідну кількість блоків і стежить за вирівнюванням напруцювання кожного блоку, щоб збільшити ресурс роботи всієї системи в цілому.

### **1.3 Класифікація систем кондиціонування**

Кондиціонування повітря - це створення і автоматична підтримка в закритих приміщеннях всіх або окремих параметрів (температури, вологості, чистоти, швидкості руху повітря) на певному рівні з метою забезпечення оптимальних метеорологічних умов, найбільш сприятливих для самопочуття людей або ведення технологічного процесу.

Кондиціонування повітря здійснюється комплексом технічних засобів, званим системою кондиціонування повітря (СКП). До складу СКП входять технічні засоби підготовки повітря (фільтри, теплообмінники, зволожувачі або осушувачі повітря), переміщення (вентилятори), а також засоби автоматики, дистанційного керування і контролю. СКП великих громадських, адміністративних і виробничих будівель обслуговуються, як правило, комплексними автоматизованими системами управління.

Автоматизована система кондиціонування підтримує заданий стан повітря в приміщенні незалежно від коливань параметрів навколишнього середовища (атмосферних умов). Основне обладнання системи кондиціонування для підготовки і переміщення повітря компонується в апарат, званий кондиціонером. У багатьох випадках всі технічні засоби для кондиціонування повітря скомпоновані в одному блоці або в двох блоках, і тоді поняття «СКП» і «кондиціонер» однозначні.

Перш ніж перейти до класифікації систем кондиціонування (див. рис. 1.1), слід зазначити, що загальноприйнятої класифікації СКП на сьогодні не існує і пов'язано це з багатоваріантністю принципів схем, технічних і функціональних характеристик, які залежать не тільки від технічних можливостей самих систем, але і від об'єктів застосування (кондиціонованих приміщень).



Рисунок 1.1 Класифікація багатозональних СКП за функціональними показниками

Сучасні системи кондиціонування можуть бути класифіковані за:

- основним призначенням (об'єктом застосування) - комфортні і технологічні;
- принципом розташування кондиціонера по відношенню до обслуговуваного приміщення - центральні і місцеві;
- наявності власного (тобто входить до конструкції кондиціонера) джерела тепла і холоду - тобто автономні і неавтономні;
- принципом дії - прямоточні, рециркуляційні та комбіновані;
- способу регулювання вихідних параметрів кондиціонованого повітря - з якісним (однотрубним) і кількісним (двотрубним) регулюванням;
- ступеня забезпечення метеорологічних умов в приміщенні, що обслуговується - I-го, II-го і III-го класу;
- кількістю обслуговуваних приміщень (локальних зон) - однозональні і багатозональні;
- тиску, що розвивається вентиляторами кондиціонерів: низького, середнього і високого тиску.

Комфортні СКП призначені для створення і автоматичної підтримки температури, відносної вологості, чистоти і швидкості руху повітря, що відповідають оптимальним санітарно-гігієнічним вимогам для житлових, громадських і адміністративно-побутових будівель або приміщень. Технологічні СКП призначені для забезпечення параметрів повітря, що в максимальному ступені відповідають вимогам виробництва. Технологічне кондиціонування в приміщеннях, де знаходяться люди, здійснюється з урахуванням санітарно-гігієнічних вимог до стану повітряного середовища.

Центральні СКП забезпечуються ззовні холодом (що доставляється холодною водою або холодоагентом), теплом (що доставляється гарячою водою, парою або електрикою) і електричною енергією для приводу електродвигунів вентиляторів, насосів та ін. Центральні СКП розташовані поза обслуговуваними приміщеннями і кондиціонують одне велике приміщення, кілька зон такого приміщення або багато окремих приміщень. Іноді кілька центральних кондиціонерів обслуговують одне приміщення

великих розмірів (виробничий цех, театральний зал, закритий стадіон або каток). Центральні СКП обладнуються центральними неавтономними кондиціонерами, які виготовляються по базовим (типовим) схемам компоновки устаткування і їх модифікацій.

Центральні СКП володіють наступними перевагами:

- ефективним підтриманням заданої температури і відносної вологості повітря в приміщеннях;
- зосередженням устаткування, що вимагає систематичного обслуговування і ремонту, як правило, в одному місці (підсобному приміщенні, технічному поверсі тощо);
- можливостями забезпечення ефективного шумо- і віброгасіння.

За допомогою центральних СКП при належній акустичній обробці повітроводів, пристрої глушників шуму і гасителів вібрації можна досягти найбільш низьких рівнів шуму в спецприміщеннях типу телерадіостудії і т.п.

Незважаючи на ряд переваг центральних СКП, треба відзначити, що великі габарити і проведення складних монтажних-будівельних робіт по установці кондиціонерів, прокладці повітропроводів і трубопроводів часто призводять до неможливості застосування цих систем в існуючих реконструйованих будинках.

Місцеві СКП розробляють на базі автономних і неавтономних кондиціонерів, які встановлюють безпосередньо в обслуговуваних приміщеннях. Перевагою місцевих СКП є простота установки і монтажу.

Така система застосовується в великому ряді випадків:

- в існуючих житлових та адміністративних будівлях для підтримки теплового мікроклімату в окремих офісних приміщеннях або в житлових кімнатах;
- у споруджуваних будинках для окремих кімнат, режим споживання холоду в яких різко відрізняється від такого режиму в більшості інших приміщень, наприклад, в серверних і інших насичених тепловиділяючою технікою кімнатах адміністративних будівель (подача свіжого повітря і видалення витяжного повітря при цьому виконується, як правило, центральними системами припливно-витяжної вентиляції);



- у споруджуваних будинках, якщо підтримка оптимальних теплових умов потрібна в невеликому числі приміщень, наприклад, в обмеженому числі номерів-люкс невеликого готелю;

- у великих приміщеннях як існуючих, так і споруджуваних будинків: кафе і ресторанах, магазинах, проектних залах, аудиторіях і т.д.

Автономні СКП забезпечуються ззовні тільки електричною енергією, наприклад, кондиціонери спліт-систем, шафові кондиціонери і т.п. Такі кондиціонери мають вбудовані компресійні холодильні машини, що працюють, як правило, на фреоні 22.

Автономні системи охолоджують і осушують повітря, для чого вентилятор продуває рециркуляційне повітря через поверхневі повітроохолоджувачі, якими є випарники холодильних машин, а в перехідний і зимовий час вони можуть виконувати підігрів повітря за допомогою електричних підігрівачів або шляхом реверсування роботи холодильної машини по циклу так званого «теплого насоса». Найбільш простим варіантом, що представляє децентралізоване забезпечення в приміщеннях температурних умов, можна вважати застосування кондиціонерів спліт-систем.

Неавтономні СКП поділяються на:

- повітряні, при використанні яких в обслуговуване приміщення подається тільки повітря;

- водоповітряні, при використанні яких в кондиціоновані приміщення підводяться повітря і вода, що несуть тепло або холод, або те й інше разом (системи чиллерів-фанкойлів, центральні кондиціонери з місцевими доводчиками і т.п.).

Однозональні центральні СКП застосовуються для обслуговування великих приміщень з відносно рівномірним розподілом тепла та вологовиділення, наприклад, великих залів кінотеатрів, аудиторій тощо.

Такі СКП, як правило, комплектуються пристроями для утилізації тепла (теплоутилізаторами) або змішувальними камерами для використання в обслуговуваних приміщеннях рециркуляції повітря.

Багатозональні центральні СКП застосовують для обслуговування великих приміщень, в яких обладнання розміщено нерівномірно, а також для обслуговування ряду порівняно невеликих приміщень. Такі системи більш економічні, ніж окремі системи для кожної зони або кожного приміщення. Однак з їх допомогою не може бути досягнута така ж ступінь точності підтримки одного або двох заданих параметрів (вологості і температури), як автономними СКП (кондиціонерами спліт-систем і т.п.).

Прямоточні СКП повністю працюють на зовнішньому повітрі, який обробляється в кондиціонері, а потім подається в приміщення.

Рециркуляційні СКП, навпаки, працюють без припливу або з частковою подачею (до 40%) свіжого зовнішнього повітря або на рециркуляційному повітрі (від 60 до 100%), яке забирається з приміщення і після його обробки в кондиціонері знову подається в це ж приміщення.

Класифікація кондиціонування повітря за принципом дії на прямоточні і рециркуляційні обумовлюється, головним чином, вимогами до комфортності, умовами технологічного процесу виробництва або техніко-економічними міркуваннями.

Центральні СКП з якісним регулюванням метеорологічних параметрів представляють собою широкий ряд найбільш поширених, так званих одноканальних систем, в яких все оброблене повітря виходить з кондиціонера по одному каналу і надходить далі в одне або кілька приміщень.

При цьому регулюючий сигнал від терморегулятора, встановленого в приміщенні, що обслуговується, надходить безпосередньо на центральний кондиціонер. СКП з кількісним регулюванням подають повітря в одне або кілька приміщень по двох паралельних каналах. Температура в кожному приміщенні регулюється кімнатним терморегулятором, що впливає на місцеві змішувачі (повітряні клапани), які змінюють співвідношення витрат холодного і підігрітого повітря.

Двоканальні системи використовуються дуже рідко через складність регулювання, хоча і мають деякі переваги, зокрема, відсутність в обслуговуваних приміщеннях теплообмінників, трубопроводів тепло- і холодоносія; можливість спільної роботи з системою опалення, що особливо важливо для існуючих будівель, системи опалення яких при налаштуванні двоканальних систем можуть бути збережені.

Недоліком таких систем є підвищені витрати на теплову ізоляцію паралельних повітроводів, що підводяться до кожного обслуговуваного приміщення. Двоканальні системи так само як і одноканальні, можуть бути прямоточними і рециркуляційними.

## РОЗДІЛ 2. ОПИС ОБ'ЄКТУ УПРАВЛІННЯ

### 2.1 Характеристика сучасної мультизональної системи кондиціонування

Мультизональні системи кондиціонування (мультизональні кондиціонери) - це інтелектуальні та автоматизовані централізовані системи кондиціонування, які дозволяють кондиціонувати декілька приміщень та всю будівлю завдяки можливості підключення понад шістдесяті внутрішніх блоків до одного зовнішнього блоку. Це одна з найбільш енергоефективних систем, яка може працювати як для охолодження, так і для нагрівання повітря, створюючи індивідуальний клімат у кожному окремому приміщенні.

До багатозональна систем кондиціонування повітря відносяться повітряні системи зі змінною витратою повітря і комбіновані системи (водо-повітряні і фреоно-повітряні), в яких основні надлишки тепла і вологи приміщення асимілюються місцевими кондиціонерами, а повітряне навантаження залишається на центральному кондиціонері або системі вентиляції (див. рис . 2.1):

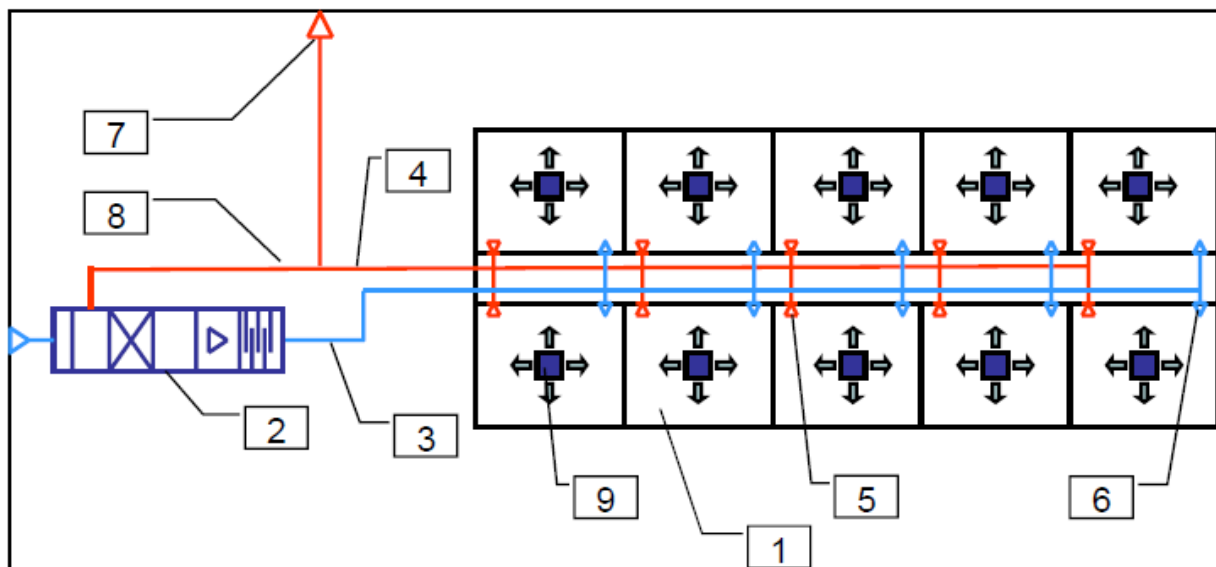


Рисунок 2.1 Принципова схема комбінованих багатозональних СКП

1. Кондиціоноване приміщення;
2. Центральний кондиціонер або система вентиляції;
3. Припливний повітропровід;
4. Витяжний повітропровід;
5. Повітря, що видаляється;
6. Припливне повітря;

7. Викидне повітря;
8. Рециркуляція;
9. Місцевий кондиціонер повітря.

Основне поширення набули саме комбіновані багатозональні СКП.

Основних причин декілька:

1. У (3 – 4) рази скорочується повітрообмін приміщень (відповідно габарити повітропроводів, обладнання центрального кондиціонера, витрати енергії на переміщення вентиляційного повітря), так як центральний кондиціонер несе тільки вентиляційне навантаження;

2. За рахунок індивідуального регулювання в кожній зоні усувається перевитрата енергії на невикористовувані приміщення і приміщення з нерівномірними навантаженнями;

3. Підвищується рівень комфорту. Кожен споживач встановлює саме ті параметри повітряного середовища, які йому в даний момент необхідні.

Часто зустрічаються такі визначення мультизональних систем як VRV і VRF:

- VRV - Variable Refrigerant Volume (з англ. - «змінний об'єм холодоагенту»). Перша мультизональна система кондиціонування була розроблена і запатентована в 1982 році японською компанією Daikin.

- VRF - Variable Refrigerant Flow (з англ. - «змінний потік холодоагенту»). Так як назва VRV «Variable Refrigerant Volume» зареєстрована як торгова марка компанією Daikin, інші виробники кліматичного обладнання розробили аналогічну систему кондиціонування і дали йому схожу назву - Variable Refrigerant Flow. Таким чином, назва VRF означає тип кондиціонерів. У самій назві мультизональних систем («змінний об'єм холодоагенту») закладена їх основна відмінність від інших систем кондиціонування - це використання загальної системи трубопроводів. У внутрішніх блоках мультизональних систем розташований терморегулюючий вентиль, який регулює об'єм холодоагента, що надходить з системи трубопроводів в залежності від навантаження. Завдяки цьому мультизональні системи більш точно і рівно підтримують температуру, ніж звичайні

кондиціонери, робота яких викликає перепади температур через регулювання температури повітря періодичним включенням і вимиканням.

## **2.2 Задачі автоматизованої системи управління**

Введення в дію АСУ повинно призводити до корисних техніко-економічних, соціальних або інших результатів. Зокрема, впровадження автоматизованої системи дозволить домогтися зниження кількості обслуговуючого персоналу, підвищення якості функціонування об'єкта і т.д.

Розглянемо ряд загальних вимог, які висуваються до АСУ.

По-перше, повинна бути забезпечена сумісність елементів один з одним, а також з автоматизованими системами, взаємопов'язаними з даною АСУ.

Автоматизована система має бути гнучка до модернізації і розширення з урахуванням майбутніх перспектив.

В АСУ повинні бути передбачені контроль правильності виконання функцій, що автоматизуються і діагностування із зазначенням місця, виду та причини виникнення порушень правильності функціонування системи.

Мають бути передбачені заходи захисту від дій персоналу, що можуть стати причиною аварійного стану об'єкта або системи управління, від випадкових змін і руйнування програм, а також від несанкціонованого витоку інформації.

## **2.3 Контроль параметрів**

В даному проекті контролюються такі параметри: температури в кожному приміщенні, температура на виході з загального повітропроводу, температура повітря на вулиці, швидкість повітряного потоку в витяжних повітропроводах, тиск в припливному і витяжному повітропроводах, тиск в кожному приміщенні.

Головними аспектами при виборі засобів контролю є висока якість, надійність, великий період експлуатації та задовільна ціна.

Беручи до уваги вище згадані критерії було обрано наступне обладнання.

Для вимірювання температури в приміщеннях було обрано датчики температури TM1STNTCWN75750 (NTC), T-A (NTC-10k) компанії Schneider Electric .

Для вимірювання тиску в приміщеннях застосували датчики марки DPT2500-R8.

Для вимірювання швидкості повітря в повітропроводах використано датчики QVM62.1 фірми Siemens.

## **2.4 Технологічний захист**

Для захисту обладнання від можливих аварійних ситуацій в проекті було передбачено ряд засобів блокування, що при виникненні умов, які можуть призвести до аварії установки блокують роботу системи або окремого обладнання. В установці, яка розглядалась, було передбачено захист двигунів вентиляторів за допомогою термодатекту, а також вимкнення вентиляторів за допомогою пресостата, який спрацьовує при виникненні перепаду тиску, більшого за виставлений на приладі. Використовуючи аналогічний принцип роботи пресостат встановлюється на фільтрах в каналі і по перепаду тиску можна дізнатись про їх засмічення. В якості пресостатів використовували прилади LF32-05.

Також в даній установці передбачено блокування роботи вентиляторів в ручному режимі за допомогою кнопочних постів, що дозволяють примусово вимкнути вентилятор. Кнопочні пости використовувались виробництва компанії Schneider Electric марки XALD01.

## **2.5 Особливості роботи системи**

Принцип роботи комплексу нагадує мультиспліт-систему, але відрізняється більшою продуктивністю та більш складною схемою. Кожна VRF/VRV система будується за блоковим типом: чим більше приміщень, тим більше внутрішніх модулів. Всі блоки об'єднуються між собою єдиною фреоновою трасою, що складається з декількох труб. У місцях розгалуження встановлюються колектори або рефнети. Система з двох труб призначена для охолодження або нагрівання, а траса з трьох труб дозволить нагрівати і охолоджувати повітря в різних приміщеннях одночасно.

Щоб робота всього комплексу не залежала від надійності одного компресора, допускається встановлення до трьох зовнішніх модулів. Це дає можливість використовувати один блок в якості резервного або розширювати систему в майбутньому. Перевага конструкції в тому, що після запуску можна

змінювати комплекс кондиціонування, врізати додаткові магістралі або замінювати зношені ділянки.

У звичайних мультиспліт-системах між зовнішнім і кожним з внутрішніх блоків прокладається окрема фреонова траса. У системах VRV і VRF всі блоки підключаються до єдиної системи трубопроводів, тобто до загальної траси з двох або трьох мідних труб підключається до 64 внутрішніх і 3 зовнішніх блока. Таке технічне рішення дозволяє спростити (здешевити і прискорити) монтажні роботи та дає можливість легко розширювати систему в майбутньому.

Максимальна відстань між внутрішнім і зовнішнім блоком (довжина трубопроводу) становить 165 метрів. Перепад висот між зовнішнім і внутрішнім блоком (відстань між блоками по вертикалі) - 90 метрів. Таким чином, стало можливим розміщувати зовнішній блок кондиціонера в будь-якому зручному місці - на даху, в підвалі або навіть в декількох десятках метрів від будинку.

## **2.6 Робота VRF при низьких температурах**

Як відомо, в нашій країні кліматичні умови "суворіше", ніж у багатьох інших країнах. Бувають періоди, коли температура взимку знижується до -30 °С. "Різноманітність" погодних умов суттєво позначається на можливості експлуатації складних кліматичних систем, часто не розрахованих виробником на настільки холодний клімат.

У зв'язку з численними запитами споживачів про дозвіл використання системи VRF в режимі охолодження при температурі зовнішнього повітря нижче порогового значення, допустимого виробником обладнання, розроблена універсальна система доопрацювання зовнішніх блоків центральних систем кондиціонування - VRF-house. Відомо, що основними проблемами використання VRF при "низьких" температурах є: конденсатор зовнішнього блоку, який не дозволяє підтримувати оптимальний тиск конденсації штатною системою автоматики і недостатньо ефективно працює система повернення мастила, особливо в системі змащення інверторного компресора при температурах, які нижче допустимих виробником.



Універсальна система, запропонована розробниками, дозволяє максимально зменшити негативний вплив низьких температур, встановлений в системі контролер, ґрунтуючись на показаннях температурних датчиків і сигналів штатної системи управління, формує сигнали управління для підтримки оптимального тиску конденсації, як в режимі "пуску", так і в режимі "роботи".

Для зміни продуктивності конденсатора використані високоякісні, теплоізовані рольставні з електроприводом.

Завдяки гнучкому алгоритму роботи контролера, система регулювання тиску конденсації вмикається в роботу тільки в тому випадку, якщо температура на вулиці нижча за температуру, допустиму виробником. В інший час система працює в штатному режимі.

У разі падіння температури на вулиці нижче  $-30^{\circ}\text{C}$ , автоматика примусово переводить VRF в режим вентиляції.

Ще одним плюсом системи є високоефективний режим відтаювання в разі роботи VRF в режимі теплового насоса.

Встановлені додаткові нагрівачі, керовані контролером, значно знижують ризик виходу з ладу інверторного компресора, що пускається на низькій частоті обертання.

При тривалому знаходженні системи в режимі очікування, рольставні опускаються і запобігають випадковому пошкодженню конденсатора.

Компактне розташування рольставней на блоці дозволяє монтувати VRF, не збільшуючи відстань між ними, що в умовах розміщення на обмеженій площі є незаперечною перевагою.

Важливою задачею, яку вирішували розробники в процесі створення системи, було бажання не обтяжувати конструкцію, зберігши стильний дизайн VRF.

Переваги мультизональних VRF-систем кондиціонування:

- Низький рівень експлуатаційних витрат.

Мультизональні системи кондиціонування є найбільш енергоефективними і продуктивними в своєму класі. Незважаючи на те, що разові витрати на придбання та установку обладнання відносно високі, це

виправдано низьким споживанням електроенергії і високою продуктивністю протягом всього терміну експлуатації системи кондиціонування.

- Комфорт.

Діапазон режимів роботи дозволяє створити комфортний мікроклімат з урахуванням індивідуальних потреб користувача. Підтримка заданої температури в приміщенні здійснюється дуже точно ( $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ). Особливості конструкції дозволяють мультизональними системам бути дуже тихими.

- Тривалий термін служби.

За рахунок надійної і простої конструкції термін служби мультизональних систем становить (20-25) років, а звичайних кондиціонерів - близько 10 років.

- Масштаб.

Кількість приміщень, що кондиціонуються мультизональною системою з одним зовнішнім блоком може досягати десятків, на відміну від мультиспліт-систем, де є можливість підключення всього декількох внутрішніх блоків.

- Зовнішній вигляд будівлі.

Для безлічі приміщень в будівлі може використовуватися тільки один зовнішній блок, який займає невеликий простір, зберігаючи при цьому зовнішній вигляд фасаду від великої кількості зовнішніх блоків - наслідків установки звичайних кондиціонерів.

- Зручність і вартість монтажу.

За рахунок принципової технічної відмінності мультизональних систем від інших систем кондиціонування - використання загальної системи трубопроводів (а не роздільної, як в мультиспліт-системах, в якій до кожного внутрішнього блоку від зовнішнього прокладається окрема магістраль) істотно спрощується і здешевлюється монтаж. Також це можливість для легкого розширення системи в майбутньому. Максимальна довжина магістралей в мультизональних системах в порівнянні, наприклад, з мультиспліт-системами набагато більше і дозволяє централізовано кондиціонувати багатоповерхові будівлі, розташовуючи при цьому зовнішній блок в будь-якому зручному місці.

- **Прецизійний контроль за температурою в системі VRF**

В даних системах відхилення температури повітря в приміщенні від заданого значення не перевищує  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . Це стає можливим за рахунок роботи електронного терморегулюючого вентиля, який безперервно регулює витрату холодоагенту відповідно до змін навантаження внутрішніх блоків. Таким чином, системи підтримують практично постійну комфортну температуру повітря - без перепадів температури, що властиво звичайним кондиціонерам, які підтримують температуру шляхом періодичного включення і відключення.

Особливості експлуатації: управління режимами роботи мультизональних систем кондиціонування здійснюється як індивідуально (за допомогою проводового або бездротового пульта), так і централізовано (за допомогою центрального пульта або персонального комп'ютера). Дане обладнання досить просте в експлуатації і не вимагає присутності обслуговуючого персоналу, на відміну від центральних і дахових кондиціонерів, а також систем чиллер-фанкойл.

Особливості впровадження системи: впровадження мультизональних систем кондиціонування складається з декількох етапів - формування завдання, огляд об'єкта, проектування і підбір обладнання, поставка обладнання, монтаж, запуск системи. При впровадженні таких систем слід враховувати те, що для надійної роботи все обладнання повинно бути від одного виробника. Проектування і монтаж простіше і набагато дешевше ніж, наприклад, при впровадженні систем кондиціонування «чиллер-фанкойл».

## **2.7 Принцип роботи мультизональної системи**

На рис. 2.2 показана схема роботи мультизональної системи кондиціонування. Принцип роботи даної системи заснований на перенесенні теплової енергії з охолоджуваного кондиціонером повітря в повітря зовні будівлі, або іншими словами на перенесення холоду з вулиці в кондиціонер приміщення. Функцію передачі теплової енергії виконує термодинамічний процес, що протікає всередині холодильного контуру мультизонального кондиціонера.

Повітря, що знаходиться ззовні будівлі, охолоджує теплообмінник конденсатора, розташованого в зовнішньому блоці, при цьому теплообмінник

конденсатора передає в навколишній простір теплову енергію і забирає холод. Робочою речовиною для переміщення теплової енергії всередині холодильного контуру є холодоагент. Таким чином, теплоємність холодоагенту всередині конденсатора знижується. У теплообмінниках випарників відбувається зворотний процес: холодоагент з низькою теплоємністю забирає тепло з повітря, циркулюючого в приміщенні, охолоджуючи його. В основі роботи холодильного контуру мультизональної системи лежить принцип змінної витрати холодоагенту. Автоматика зовнішнього блоку регулює продуктивність компресора, а отже і витрату холодоагенту в холодильному контурі залежно від необхідного навантаження. Іншими словами зовнішній блок передає у внутрішні блоки рівно стільки холодоагенту, скільки необхідно для охолодження повітря в кондиціонованих приміщеннях в певний період часу.

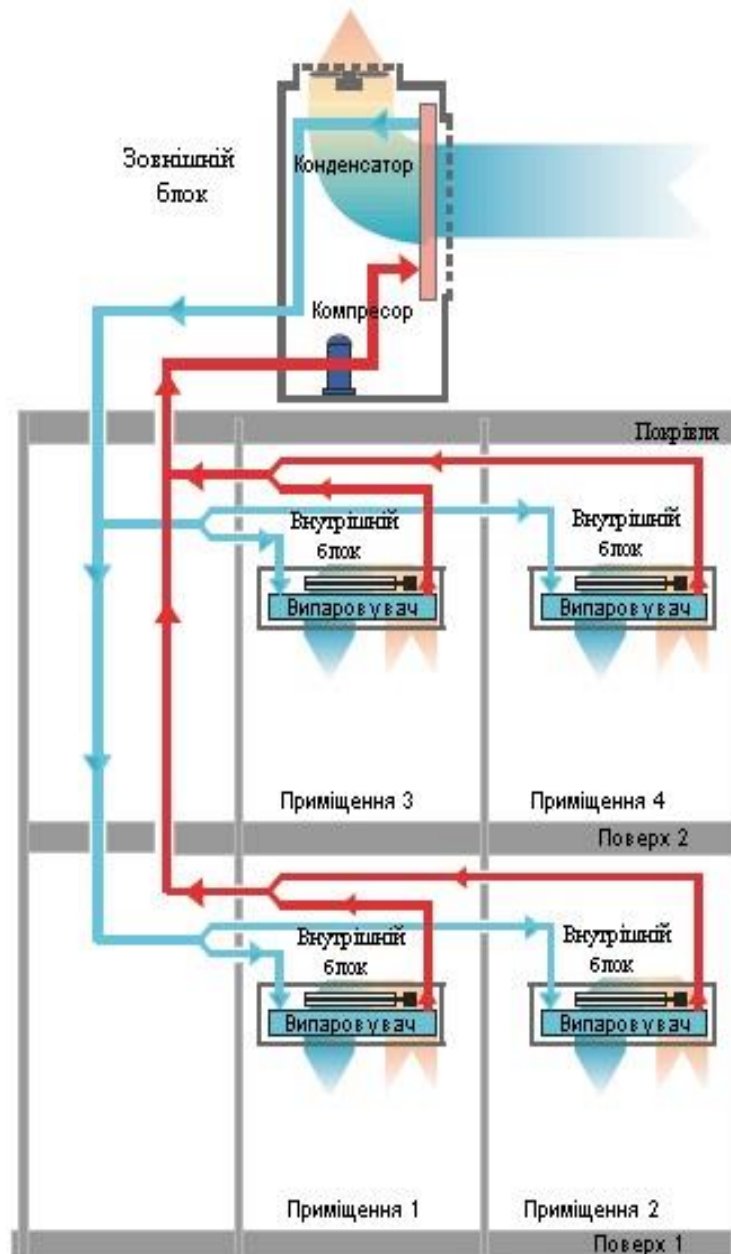


Рисунок 2.2 Схема мультизональної системи VRV

Як було сказано раніше, основним завданням холодильного контуру є охолодження повітря в кондиціонованих приміщеннях. При цьому, охолоджуючи повітря всередині приміщень, що кондиціонуються, мультизональна система переносить теплову енергію на вулицю. Робочою речовиною при перенесенні теплової енергії є фреон - холодоагент. Перенесення теплової енергії відбувається за рахунок термодинамічного процесу, який включає чотири головні складові:

- Випаровування холодоагенту, яке відбувається всередині теплообмінників випаровувачів внутрішніх блоків;
- Конденсація холодоагенту, яка відбувається всередині теплообмінника конденсатора зовнішнього блоку;

- Стиснення холодоагенту, яке виробляє компресор;
- Дроселювання, яке відбувається всередині блоків терморегулюючим вентилем.

Як відомо, при випаровуванні холодоагенту, тобто при його переході з рідкого стану в газоподібний, він поглинає теплову енергію, або іншими словами, охолоджує випарник.

При конденсації холодоагенту, тобто при його переході з газоподібного стану в рідке, холодоагент віддає теплову енергію, або іншими словами нагріває конденсатор. Процеси конденсації та випаровування відбуваються при певних умовах, що створюються в теплообмінниках.

Одним з головних елементів холодильного контуру є розширювальний пристрій - яким в мультизональному кондиціонері є блок електронного терморегулюючого вентиля. Терморегулюючий вентиль (ТРВ) має малу пропускну здатність у порівнянні з іншими елементами холодильного контуру. Таким чином компресор створює зону високого тиску до терморегулюючого вентиля - в теплообміннику конденсатора (зона високого тиску на схемі мультизональної системи виділена червоним кольором), і зону низького тиску після терморегулюючого вентиля в теплообміннику випарника. Газоподібний холодоагент на виході з компресора зовнішнього блоку має газоподібний стан (зона низького тиску на схемі мультизональної системи виділена синім кольором). Потрапляючи в теплообмінник конденсатора під високим тиском холодоагент починає конденсуватися - переходити з газоподібного стану в рідкий. Процес конденсації відбувається внаслідок того, що вентилятори, створюючи циркуляцію зовнішнього повітря через теплообмінну поверхню конденсатора охолоджують газоподібний холодоагент, що протікає в ньому. При цьому конденсуючись, холодоагент віддає теплову енергію зовнішньому повітрю. Далі рідкий холодоагент по рідинній лінії міжблокових фреонових комунікацій потрапляє в будинок і далі в розгалужувачі - рефнети. У розгалужувачах потік холодоагенту розділяється на складові, і далі по лініях фреонових комунікацій потрапляє в блоки терморегулюючих вентилів, а потім в зону низького тиску. У зоні низького тиску, тиск, а отже і температура рідкого холодоагенту падає. При низькому

тиску і температурі рідкий холодоагент починає випаровуватися, потрапляючи в теплообмінники випарників внутрішніх блоків. Вентилятор внутрішнього блоку, створюючи циркуляцію повітря через теплообмінник випарника, нагріває його, а отже і суміш рідкого і газоподібного холодоагенту. При цьому рідкий холодоагент повністю випаровується. Під час випаровування холодоагент охолоджує теплообмінну поверхню випарника, а отже і повітря, що кондиціонується.

Примітка: Як було сказано раніше, теплове навантаження в окремому приміщенні в плінні річного і денного циклу експлуатації може змінюватися, отже кількість холоду необхідне для охолодження приміщення також змінюється. Автоматика внутрішнього блоку, впливаючи на органи управління електронного терморегулюючого вентиля, змінює його пропускну здатність, при цьому кількість холодоагенту, що подається в теплообмінник випарника, змінюється.

Після теплообмінників випарників внутрішніх блоків холодоагент по газовим лініям фреонових комунікацій через розгалужувачі повертається в зовнішній блок. У відокремлювачі рідини з газового холодоагенту видаляються останні залишки рідини, і далі він потрапляє назад в компресор.

Регулювання продуктивності компресора здійснює автоматика зовнішнього блоку. Контролер зовнішнього блоку з'єднаний з системами автоматизованого управління внутрішніх блоків. Внутрішні блоки передають зовнішньому блоку інформацію про їх завантаження. Отримавши таку інформацію, контролер зовнішнього блоку аналізує інші параметри роботи мультизональної системи і згідно до цього регулює продуктивність компресора.

Розширювальний пристрій управляє потоком рідкого холодоагенту, що надходить з конденсатора, забезпечуючи падіння величини тиску з високого значення (тиск в конденсаторі) до найнижчого значення (тиск у випарнику), впливаючи також на величину падіння температури.

Розширювальний пристрій управляє потоком рідкого холодоагенту, що надходить у випарник (див. рис. 2.3).



Рисунок 2.3 Схематичне зображення роботи розширювального пристрою

Розширювальні пристрої, що застосовуються в холодильній техніці, можуть бути двох видів: регульовані і нерегульовані.

У нерегульованих розширювальних пристроях прохідний перетин залишається незмінним, на відміну від регульованих розширювальних пристроїв - в них прохідний перетин може змінюватися, змінюючи таким чином масова витрата холодоагенту через пристрій.

Ось деякі приклади розширювальних пристроїв різного типу:

- Капілярна трубка (нерегульований пристрій);
- Автоматичний розширювальний клапан (регулюється по сигналу тиску);
- Терморегулюючий вентиль (регулюється по сигналу тиску і температури);
- Електронний терморегулюючий вентиль.

Принцип роботи TRV

Функціонування терморегулюючого вентиля обумовлено співвідношенням наступних величин тисків:

P1: Тиск в термобалоні, який впливає на діафрагму зверху, у напрямку відкриття клапана;

P2: Тиск у випарнику (тиск кипіння), який впливає на діафрагму знизу, у напрямку закриття клапана;

P3: Зусилля пружини, яке також впливає на діафрагму знизу, у напрямку закриття клапана.



А: напрямок руху холодоагенту в випарник

В: напрямок руху холодоагенту з конденсатора

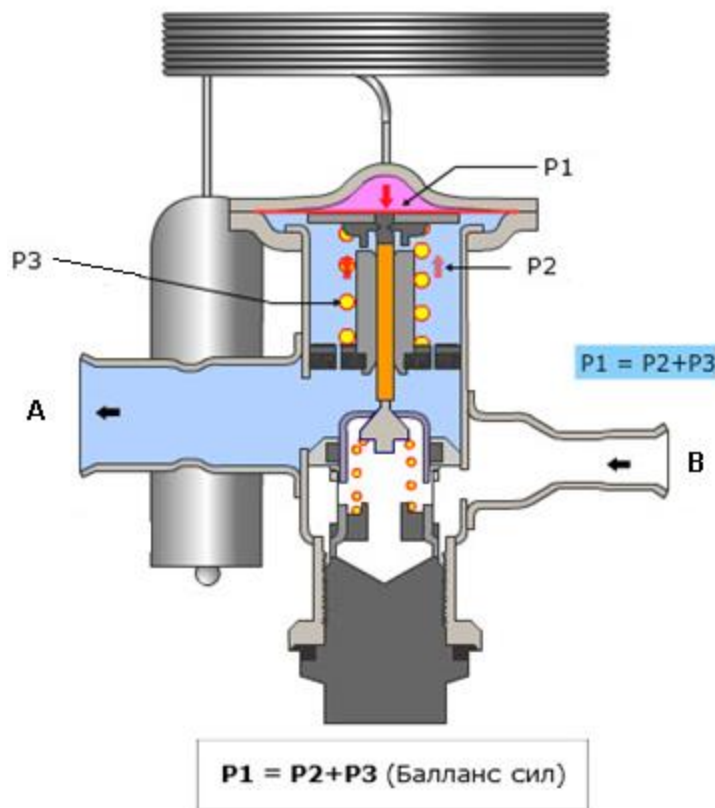


Рисунок 2.4 Принцип роботи терморегулюючого вентиля

Під час процесу регулювання (роботи пристрою), баланс сил утворюється між тиском в термобалоні з одного боку діафрагми ( $P1$ ) і тиском кипіння ( $P2$ ), плюс зусиллям пружини ( $P3$ ) з іншого боку. Зусилля пружини необхідно для завдання мінімального значення тиску в термобалоні, що приводить до початку зміщення діафрагми для відкриття клапана.

## 2.8 Компресори постійного струму

Вивчення ринку систем кондиціонування показує, що однією з найбільш помітних тенденцій останнього часу є використання інверторних компресорів постійного струму навіть у великих кліматичних установках.

Як відомо, щоб реалізувати плавне управління компресором кондиціонера в стандартному інверторі (для двигуна змінного струму), змінний струм мережі необхідно перетворити спочатку в постійний, а потім знову в змінний, який споживає електродвигун компресора. Для цього необхідні, відповідно, випрямляч і інвертор, кожен з яких є причиною подорожчання технології та додатковою точкою відмови. Крім того, в певній мірі збільшується і споживання електроенергії.

Кондиціонери, оснащені технологією DC Inverter (інвертором постійного струму), перетворюють змінний струм один раз, оскільки і компресор, і електродвигун тут є приладами постійного струму.

Вперше таку схему в своїх кондиціонерах застосувала компанія Hitachi. Технологія отримала назву DC Inverter. Далі я докладно розкрию цю технологію, проте спочатку звернемося до фізичних основ регулювання електродвигунів постійного струму. Як відомо, робота електричного двигуна постійного струму заснована на явищі електромагнітної індукції. При цьому на провідник зі струмом, поміщений в магнітне поле, діє сила, яка визначається наступним чином:

$$F = B \times I \times L \quad (2.1)$$

де  $I$  – струм, що протікає по провіднику [А],  $B$  – індукція магнітного поля [Тл],  $L$  – довжина провідника [м].

При перетині провідником магнітних силових ліній в ньому наводиться електрорушійна сила (ЕРС), яка спрямована проти струму в провіднику і тому називається зворотною або протидіючою ЕРС. Електрична потужність в двигуні перетворюється в механічну і частково витрачається на нагрівання провідника.

Конструктивно всі електричні двигуни постійного струму складаються з індуктора і якоря, розділених повітряним зазором.

Електродвигуни постійного струму застосовують в електроприводах, де потрібні великий діапазон регулювання швидкості, велика точність підтримки швидкості обертання, можливість регулювання швидкості в більшу сторону щодо номінальної.

З точки зору регулювання електродвигунів нас буде цікавити формула для визначення частоти обертання. Частота обертання електродвигуна постійного струму визначається наступним чином:

$$n = \frac{U - I_{\text{я}} R_{\text{я}}}{k_c \Phi} \quad (2.2)$$

де  $U$  - напруга мережі живлення [В],  $I_{\text{я}}$  - струм якоря [А],  $R_{\text{я}}$  - опір ланцюга якоря [Ом],  $k_c$  - коефіцієнт, що характеризує магнітну систему,  $\Phi$  - магнітний потік електродвигуна [Вб].

Цей вираз називається рівнянням електромеханічної характеристики двигуна постійного струму незалежного збудження. З нього випливає, що існує три способи регулювання кутової швидкості:

- за рахунок зміни величини опору реостата в ланцюзі якоря;
- за рахунок зміни потоку збудження двигуна  $\Phi$ ;
- за рахунок зміни напруги  $U$ , що підводиться до обмотки якоря

двигуна. Струм в ланцюзі якоря  $I_{\text{я}}$  і момент  $M$ , що розвивається двигуном, залежать тільки від величини навантаження на його валу.

Зупинимось докладніше на кожному з цих способів.

Варіант регулювання швидкості двигуна постійного струму зміною опору в ланцюзі якоря призводить до зміни жорсткості характеристик в широких межах, а тому при швидкостях менше половини номінальної стабільність роботи двигуна різко погіршується. З цієї причини діапазон регулювання швидкості обмежений. Швидкість можна регулювати в сторону зменшення від номінальної (про це свідчать електромеханічні і механічні характеристики). Високу плавність регулювання забезпечити важко. Також недоліком є і наявність значних втрат потужності в процесі регулювання.

При другому способі регулювання здійснюється зміною величини магнітного потоку за рахунок введення в ланцюг обмотки збудження додаткового реостата. При ослабленні потоку кутова швидкість двигуна, як

при навантаженні, так і при холостому ході зростає, а при посиленні потоку зменшується. Однак на практиці можлива зміна швидкості тільки в бік збільшення. Завдяки можливості плавної зміни опору реостата з'являється і можливість плавного регулювання швидкості обертання електродвигуна. Суттєвими перевагами даного способу регулювання швидкості є його простота і висока економічність.

Однак даний вид регулювання практично не звільняє потужності (енергоспоживання постійно), а тому використовується в приводах тільки в якості допоміжного, причому, як правило, тільки в умовах холостого ходу.

Третій спосіб регулювання швидкості полягає в зміні напруги, що підводиться до обмотки якоря двигуна. Кутова швидкість двигуна постійного струму незалежно від навантаження змінюється прямо пропорційно напрузі, що підводиться до якоря.

При цьому слід зазначити, що всі регульовальні характеристики є жорсткими, а ступінь їх жорсткості залишається для всіх характеристик незмінною. Таким чином, робота двигуна є стабільною на всіх кутових швидкостях, і, отже, забезпечується широкий діапазон регулювання швидкості незалежно від навантаження. Більш того, кутову швидкість можна зменшувати і збільшувати щодо номінальної. Також досить просто забезпечити і плавне регулювання частоти обертання електродвигуна: для цього досить плавно змінювати напругу постійного струму.

Нарешті, даний варіант регулювання є найбільш економічним, оскільки регулювання кутової швидкості двигуна постійного струму незалежного збудження здійснюється без додаткових втрат потужності в силовому ланцюзі якоря.

З огляду на всі фактори вищевикладеного аналізу існуючих способів регулювання частоти двигунів постійного струму, можна стверджувати, що третій спосіб регулювання є найкращим.

Саме тому в кліматичній техніці регулювання двигунів постійного струму реалізовано за допомогою зміни напруги живлення, в чому ми далі і переконаємося. Зараз же розглянемо варіанти зміни (регулювання) напруги постійного струму.

## Регулювання напруги постійного струму

Як відомо, регулювання - це зміна напруги і струму по заданому закону. Якщо напруга і струм постійні, то регулювати можна тільки їх значення (величину).

В цілому можна виділити два основних способи регулювання напруги - це випрямлення змінної напруги за допомогою діодних мостів і широтно-імпульсна модуляція.

У першому випадку в випрямних мікросхемах використовуються двухполуперіодні регулятори постійної напруги (схема таких регуляторів приведена на рис. 2.5).

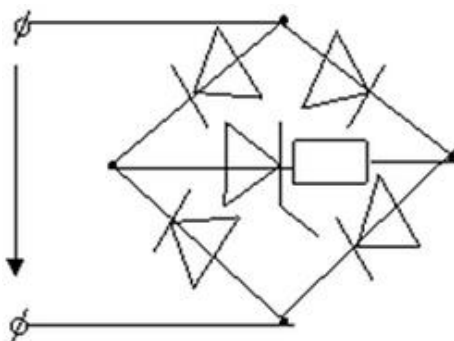


Рисунок 2.5 Схема двопівперіодного регулятора постійної напруги

У другому випадку живлення здійснюється прямокутними імпульсами напруги, з частотою, досить великою для того, щоб паузи між імпульсами не викликали помітного зниження швидкості обертання ротора, то зміною шпаруватості (відношенням періоду повторення до тривалості імпульсу) можна змінювати середнє значення напруги, що подається на двигун, і таким чином змінювати частоту обертання його ротора. При цьому в схемі живлення електродвигуна можна використовувати ключовий елемент, який має два стани і здатний в процесі роботи швидко переходити з одного в інше. Для формування керуючих прямокутних імпульсів може бути використаний, наприклад, мультівібратор або будь-який інший пристрій.

Зміна шпаруватості імпульсів при незмінному періоді їх повторення для зміни середнього значення струму або напруги на навантаженні називається широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ).

Але повернемося до двигунів постійного струму, що використовуються в якості приводу для компресорів кондиціонерів, розглянемо переваги їх використання та варіанти реалізації для систем кондиціонування різних типів.

#### Переваги інвертора постійного струму

Технологія інверторного приводу постійного струму має низку переваг:

- Зниження енергоспоживання. Величина економії залежить від виробника і в середньому становить 15% в порівнянні з традиційною схемою;
- Більш стабільна і надійна робота за рахунок використання спрощеної схеми, зокрема, за рахунок відмови від перетворювача постійного струму в змінний;
- Кондиціонери з таким пристроєм можуть використовувати однофазне живлення (з мережі змінного струму 220 В) навіть в досить потужних моделях - до 14 кВт холодопродуктивності;
- Безсумнівним плюсом є можливість роботи таких агрегатів в режимі «охолодження» при низьких температурах атмосферного повітря (як правило, до -15°C);
- При цьому не втрачається жодна з переваг традиційного інвертора змінного струму: тиха робота, точний контроль температури, економічність та довговічність.

Останнім часом багато виробників мультизональних систем кондиціонування анонсували впровадження інверторних приводів постійного струму для систем компресорів, що входять до їх складу. Так, наприклад, двороторні компресори постійного струму використані в VRF-системах Toshiba серії SMMS-i. Кожен зовнішній блок 14 і 16 HP оснащений трьома двороторними компресорами постійного струму з інверторними приводами. Решта блоків (8, 10, 12 HP) мають по два компресори. Нові компресори дозволяють підвищити як енергоефективність, так і рівень комфорту.

В системі SMMS-i збільшена площа поверхні магнітів ротора, а спеціальні прорізи підвищують ефективність і знижують шум двигуна. Крім того, завдяки компактним магнітним роторам нової конструкції зменшені вихрові втрати в кожному двигуні. Всі ці інновації дозволили помітно підвищити ефективність мультизональних систем Toshiba SMMS-i.

Крім того, з використанням технології DC Inverter були представлені в 2013 році мультизональні системи кондиціонування компанії Hitachi. Дані системи здатні швидко забезпечити задану температуру повітря в приміщенні за рахунок зміни частоти обертання, регульованою інверторним перетворювачем в режимі реального часу.

Як заявляють в Hitachi, використання інверторних компресорів постійного струму дозволяє досягти 30-відсоткової економії електроенергії без погіршення рівня комфорту. У той же час застосування електродвигунів постійного струму дозволяє на 10% підвищити ефективність обладнання.

У компанії Hitachi було проведено окреме дослідження підвищення ефективності роботи мультизональних систем при завантаженні (60-80)%, оскільки температура, що збігається з номінальною, характерна для нашого клімату лише кілька днів на рік, а більшу частину часу VRF-система працює при низькому або середньому навантаженні. Тому оптимальною виявляється не система, що володіє максимальною продуктивністю при піковому тепловому навантаженні, а та, що ефективніше всіх працює при частковому завантаженні компресорів. Це відповідає частотам (30-40) Гц. Як результат - в системах Hitachi Set Free використані компресори з електродвигуном постійного струму DC Inverter, які відрізняються підвищеною ефективністю якраз при обертанні на частотах від 30 до 40 Гц.

Відзначимо і той факт, що спіральні компресори з постійною швидкістю обертання використані і в мультизональній системі Panasonic ECOi.

Таким чином, підбиваючи підсумки, слід зазначити, що компресори постійного струму поступово впроваджуються в усі види систем кондиціонування. Якщо раніше мова могла йти тільки про побутові спліт-системи, то сьогодні це також і мультизональні системи кондиціонування, і прецизійне кліматичне обладнання, і холодильні машини.

Одним з головних переваг компресорів постійного струму називають відсутність необхідності в інверторі змінного струму, який викликає додаткові втрати потужності і негативно позначається на вартості систем. Крім того, часто за рахунок переходу на постійний струм обладнання вдається підвищити електробезпеку обладнання.

## **Висновки**

В даному розділі детальну увагу було приділено опису об'єкта управління, його характеристик та особливостей. Було розглянуто принцип роботи досліджуваної установки, приведено схеми, що наочно ілюструють цю технологію. Досліджено роботу VRF-системи при низьких температурах, що є характерним для клімату нашої країни, розглянуто особливості роботи холодильного контуру і електронного ТРВ. Було визначено типи розширювальних пристроїв, які можуть бути використані в установці, досліджено їх конструкцію і принцип роботи. Також одним з головних напрямків досліджень був компресор постійного струму, адже компресор в даних установках є одним з головних елементів і відіграє дуже велику роль при виборі установки і підрахунку її енергоефективності.



## РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТОМ

### 3.1 Системний підхід до оптимізації мультизональних систем кондиціонування

На підставі запропонованої класифікації систем, що була описана в першому розділі, розроблено математичну модель мультизональних систем кондиціонування. Особливістю даної моделі є побудова технологічних параметрів відповідно до реальних характеристик обладнання.

Математична модель мультизональних систем кондиціонування побудована на підставі апроксимації табличних даних заводів-виробників. Обґрунтованість такого підходу показані в роботах А.А. Римкевича і А.Т. Акімова[].

Для застосування методів математичного аналізу характеристики обладнання (наприклад, зміни холодопродуктивності внутрішніх блоків VRF-систем в залежності від температури внутрішнього повітря в приміщеннях) виражені у вигляді степеневого ряду Ньютона (1).

$$Q_x = F(t_{\text{вн}}) = a_0 + a_1 t_{\text{вн}} + a_2 t_{\text{вн}}^2 + a_3 t_{\text{вн}}^3 + \dots + a_n t_{\text{вн}}^n \quad (3.1)$$

Для вирішення завдання визначення параметрів  $a_0 - a_n$  розглянуто як показник якості апроксимації величину:

$$\Phi = \sum_{i=0}^n [F(t_i, a_0, \dots, a_n) - Q_i]^2 \quad (3.2)$$

Підбір параметрів  $a_i$ , що мінімізують функцію  $\Phi$ , методом Ньютона дає поліном другого ступеня (3.3), який, наприклад, є функцією зміни потужності внутрішніх блоків VRF-систем в залежності від температури внутрішнього повітря по вологому термометру в приміщеннях.

$$Q_{(t_{\text{вн}})} = Q_{\text{х.ном}} (-91.19 \times 10^{-2} + 44.81 \times 10^{-3} t_{\text{вн}} + 29.62 \times 10^{-3} t_{\text{вн}}^2) \quad (3.3)$$

Границями застосування даної функції є діапазон від +16 °С до +24 °С (по вологому термометру). Аналогічним чином знайдені рівняння, що описують інші технологічні та енергетичні характеристики мультизональних СКП. Сукупність рівнянь складають систему, яка є математичною моделлю систем кондиціонування, представлену в табличній формі. Наприклад, для VRF-систем:

Таблиця 3.1 VRF-системи. Режим охолодження.

F(x)	a1	a2	a3	x-min	x-max
$Q_{вб}(t_{вн})$	$44,81 \cdot 10^{-3}$	$-91,19 \cdot 10^{-2}$	$29,62 \cdot 10^{-3}$	13	19
$Q_{вб}(t_{н})$	1,35	$-10^{-2}$	0	21	35
$Q_{нб}(t_{вн})$	$37,11 \cdot 10^{-2}$	$33,09 \cdot 10^{-3}$	0	13	19
$Q_{нб}(t_{н})$	1,340	$-10^{-2}$	0	0	35
$Q_{нб}(L_{экв})$	1,011	$-25,01 \cdot 10^{-4}$	0	5	125
$Q_{нб}(Q_{вн})$	1,011	$-11,62 \cdot 10^{-3}$	$10,31 \cdot 10^{-5}$	60	130
$N_{нб}(t_{вн})$	$37,11 \cdot 10^{-2}$	$33,09 \cdot 10^{-3}$	0	13	19
$N_{нб}(t_{н})$	0,5	$45,94 \cdot 10^{-4}$	$28,54 \cdot 10^{-5}$	0	35

Таблиця 3.2 VRF-системи. Режим обігріву.

F(x)	A1	A2	A3	x-min	x-max
$Q_{вб}(t_{вн})$	$81,75 \cdot 10^{-4}$	$11,91 \cdot 10^{-2}$	$-35,13 \cdot 10^{-4}$	15	27
$Q_{вб}(t_{н})$	$93,47 \cdot 10^{-2}$	$12,29 \cdot 10^{-3}$	$51,31 \cdot 10^{-5}$	-15	15
$Q_{нб}(t_{вн})$	1	0	0	15	27
$Q_{нб}(t_{н})$	$93,57 \cdot 10^{-2}$	$17,5 \cdot 10^{-3}$	0	-15	15
$Q_{нб}(L_{экв})$	1	$-50,13 \cdot 10^{-3}$	0	5	125
$Q_{нб}(Q_{вн})$	1,011	$-11,62 \cdot 10^{-3}$	$10,31 \cdot 10^{-5}$	60	130
$N_{нб}(t_{вн})$	$10,98 \cdot 10^{-3}$	$12,59 \cdot 10^{-2}$	$-37,06 \cdot 10^{-4}$	15	27
$N_{нб}(t_{н})$	1,015	$-42,82 \cdot 10^{-5}$	$-84,86 \cdot 10^{-5}$	-15	15

Позначення функцій в даних таблицях:

$F(t_{вн})$  - функція розподілу характеристик СКП від внутрішньої температури

$a_0, a_1, a_2 \dots a_n$  - коефіцієнти апроксимації степеневого ряду Ньютона;

$\Phi$  - квадратична функція коефіцієнтів апроксимації;

$Q_{вб}(t_{вн})$  - функція зміни потужності внутрішніх блоків від внутрішньої температури;

$Q_{вб}(t_{зп})$  - функція зміни потужності внутрішніх блоків від температури зовнішнього повітря;

$Q_{зб}(t_{вн})$  - функція зміни потужності зовнішніх блоків від внутрішньої температури;

$Q_{зб}(t_{зп})$  - функція зміни потужності зовнішніх блоків від температури зовнішнього повітря;

$Q_{зб}(L_{екв})$  - функція зміни потужності зовнішніх блоків від еквівалентної довжини магістралей;

$Q_{зб}(Q_{вн})$  - функція зміни потужності зовнішніх блоків від коефіцієнта навантаження;

$N_{зб}(t_{вн})$  - функція зміни потужності зовнішніх блоків, що споживається, від температури зовнішнього повітря;

$N_{зб}(t_{зп})$  - функція зміни потужності зовнішніх блоків, що споживається, від внутрішньої температури.

Для прикладу побудуємо графіки деяких з приведених вище залежностей:

1)  $Q_{вб}(t_{вн})$  в режимі охолодження

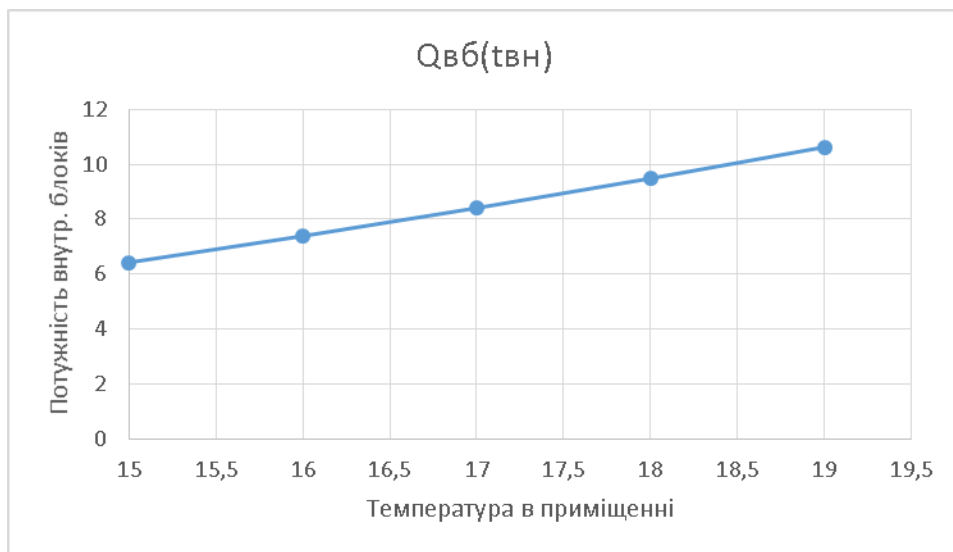


Рисунок 3.1 Графік залежності потужності внутрішніх блоків від температури в приміщенні (режим «охолодження»)

2)  $Q_{зб}(t_{вн})$  в режимі охолодження

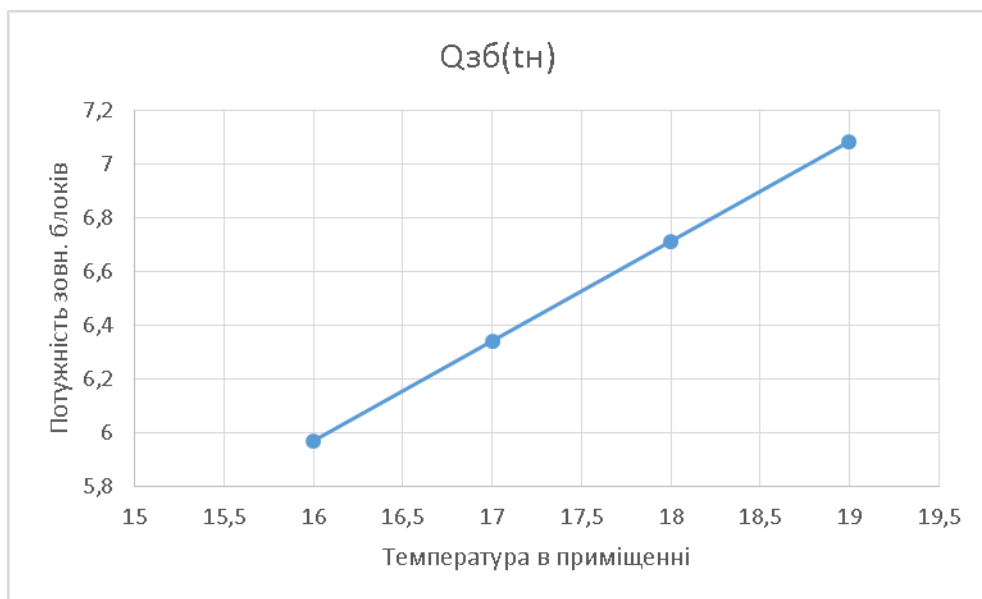


Рисунок 3.2 Графік залежності потужності зовнішніх блоків від температури в приміщенні (режим «охолодження»)

3)  $Q_{вб}(t_{вн})$  в режимі обігріву



Рисунок 3.3 Графік залежності потужності внутрішніх блоків від температури в приміщенні (режим «обігрів»)

4)  $Q_{зб}(t_{вн})$  в режимі обігріву

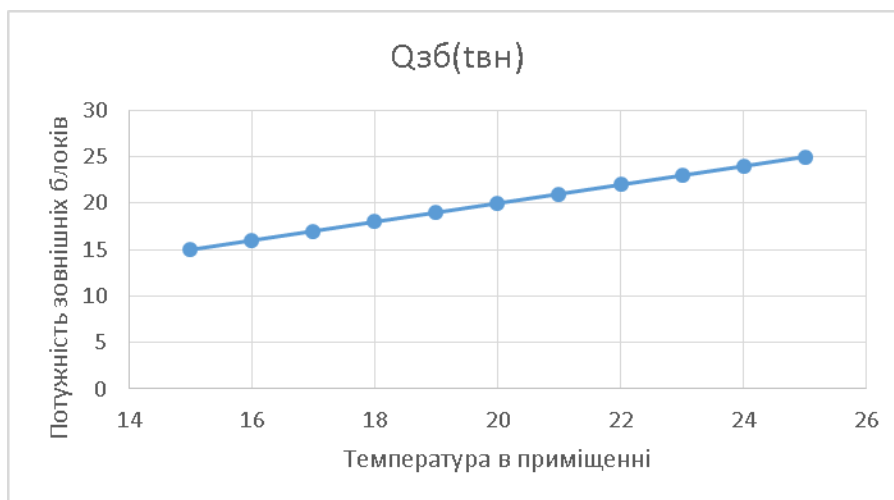


Рисунок 3.4 Графік залежності потужності зовнішніх блоків від температури в приміщенні (режим «обігрів»)

### 3.2 Розрахунок параметрів регулятора

Розрахунок параметрів системи з ПД-регулятором методом МАЧХ.

Отримаємо параметри налаштування регулятора за допомогою методу МАЧХ [4]:

- Задаємося показником коливальності  $M=1.3$
- Будуємо промінь під кутом  $\beta = \arcsin \frac{1}{1.3}$ ;
- Будуємо АФХ розімкнутої системи, прийнявши  $K_n = 1$ , а  $T_i$

знайдемо завдяки експрес-методам ( $K_{об}=0.4$ ,  $T_{об}=150$ ,  $\tau_{об}=16$ ):

1. Minimum IAE (Gallier and Otto)

$$K_p = \frac{12,3}{K_{об}} = 30,75$$

$$T_i = 0,95(T_{об} + \tau_{об}) = 157,7$$

$$T_d = 0,0215(T_{об} + \tau_{об}) = 3,569$$

2. Modified minimum ITAE (Smith)

$$K_p = \frac{0,965}{K_{об}} \left( \frac{T_{об}}{\tau_{об}} \right)^{0,855} = 16,35$$

$$T_i = 1,26T_{об} = 189$$

$$T_d = 0,308\tau_{об} = 4,928$$

3. Servo- or regulator tuning – minimum IAE (Huang and Jeng)

$$K_p = \frac{0,36 + 0,76 \frac{T_{об}}{\tau_{об}}}{K_{об}} = 18,71$$

$$T_i = 0,47\tau_{об} + T_{об} = 157,52$$

$$T_d = \frac{0,47T_{об}\tau_{об}}{0,47\tau_{об} + T_{об}} = 7,16$$

4. Van der Grinten

$$K_p = \frac{1}{K_{об}} \left( 0,5 + \frac{T_{об}}{\tau_{об}} \right) = 24,69$$

$$T_i = 0,5\tau_{об} + T_{об} = 158$$

$$T_d = \frac{T_{об}\tau_{об}}{\tau_{об} + 2T_{об}} = 7,59$$

5. Saito et. al.

$$K_p = \frac{0.215\tau_{об} + T_{об}}{1.37K_{об}\tau_{об}} = 17.5$$

$$T_i = 0.315\tau_{об} + T_{об} = 155.04$$

$$T_d = \frac{0.315 T_{об}\tau_{об}}{0.315\tau_{об} + T_{об}} = 4.88$$

• Підбираємо коло, із забезпеченням умов дотику, і знаходимо радіус отриманого кола  $r$ .

Для заданого значення  $T_i$  обраховуємо оптимальне значення

$$K_p = \frac{M}{M^2 - 1} \cdot \frac{1}{r}$$

Отримуємо АФХ розімкнутої системи.

1. При  $T_i = 157.7$ ,  $T_d = 3.569$ :

$M = 1.3$ ;

$R = 0.08664$ ;

$L = R \cdot M$ ;

$T_i = 157.7$ ;

$T_d = 3.569$ ;

$x = -20:0.001:0$ ;

$x1 = -(R+L):0.000001:(R-L)$ ;

$k = \tan(\arcsin(1/M))$ ;

$y = k \cdot x$ ;

$y1 = \sqrt{R^2 - (x1+L)^2}$ ;

$y2 = -\sqrt{R^2 - (x1+L)^2}$ ;

$w = 0:0.001:20$ ;

$p = i \cdot w$ ;

$W_r = (1 + 1/(p \cdot T_i) + T_d \cdot p)$ ;

$W_{об} = 0.4 \cdot \exp(-16 \cdot p) / (150 \cdot p + 1)$ ;

$W = W_r \cdot W_{об}$ ;

$Re = \text{real}(W)$ ;

$Im = \text{imag}(W)$ ;

$\text{plot}(x, y, 'r-', Re, Im, 'k-', x1, y1, 'b-', x1, y2, 'b-')$ ;

$\text{xlabel}('Re')$ ;

$\text{ylabel}('Im')$ ;

grid;

axis([-0.6 0.3 -0.8 0.3]);

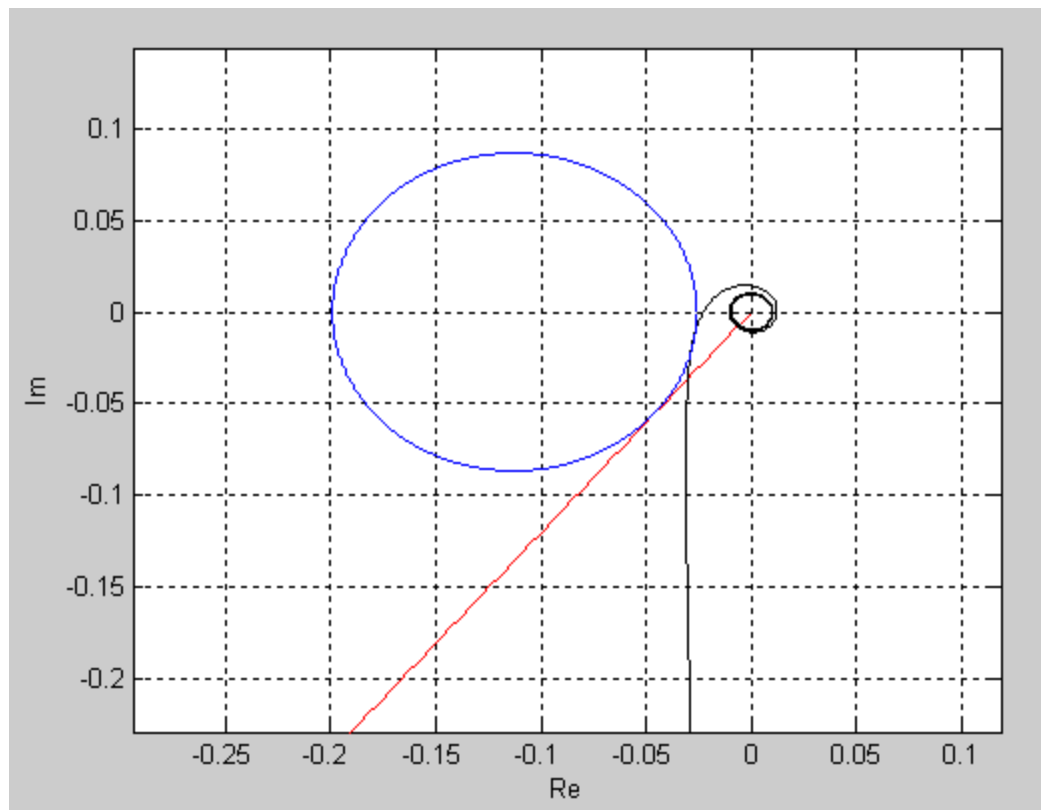


Рисунок 3.5 Метод МАЧХ для ПД-регулятора при  $T_i = 157.7$ ,  $T_d = 3.569$

Отримали радіус кола  $r=0.08664$ . Розрахуємо оптимальне значення  $K_p$  :

$$K_p = \frac{1}{r} \cdot \frac{M}{M^2 - 1} = \frac{1.3}{0.08664(1.3^2 - 1)} = 21.75$$

2. При  $T_i = 189$ ,  $T_d = 4.928$ :

$M = 1.3$ ;

$R = 0.08364$ ;

$L = R \cdot M$ ;

$T_i = 189$ ;

$T_d = 4.928$ ;

$x = -20:0.001:0$ ;

$x1 = -(R+L):0.000001:(R-L)$ ;

$k = \tan(\arcsin(1/M))$ ;

$y = k \cdot x$ ;

$y1 = \sqrt{R^2 - (x1+L)^2}$ ;

$y2 = -\sqrt{R^2 - (x1+L)^2}$ ;



```

w=0:0.001:20;
p=i.*w;
Wr=(1+1./(p.*Ti)+Td.*p);
Wob=0.4*exp(-16.*p)./(150.*p+1);
W=Wr.*Wob;
Re=real(W);
Im=imag(W);
plot(x,y,'r-',Re,Im,'k-',x1,y1,'b-',x1,y2,'b-');
xlabel('Re');
ylabel('Im');
grid;
axis([-0.6 0.3 -0.8 0.3 ]);

```

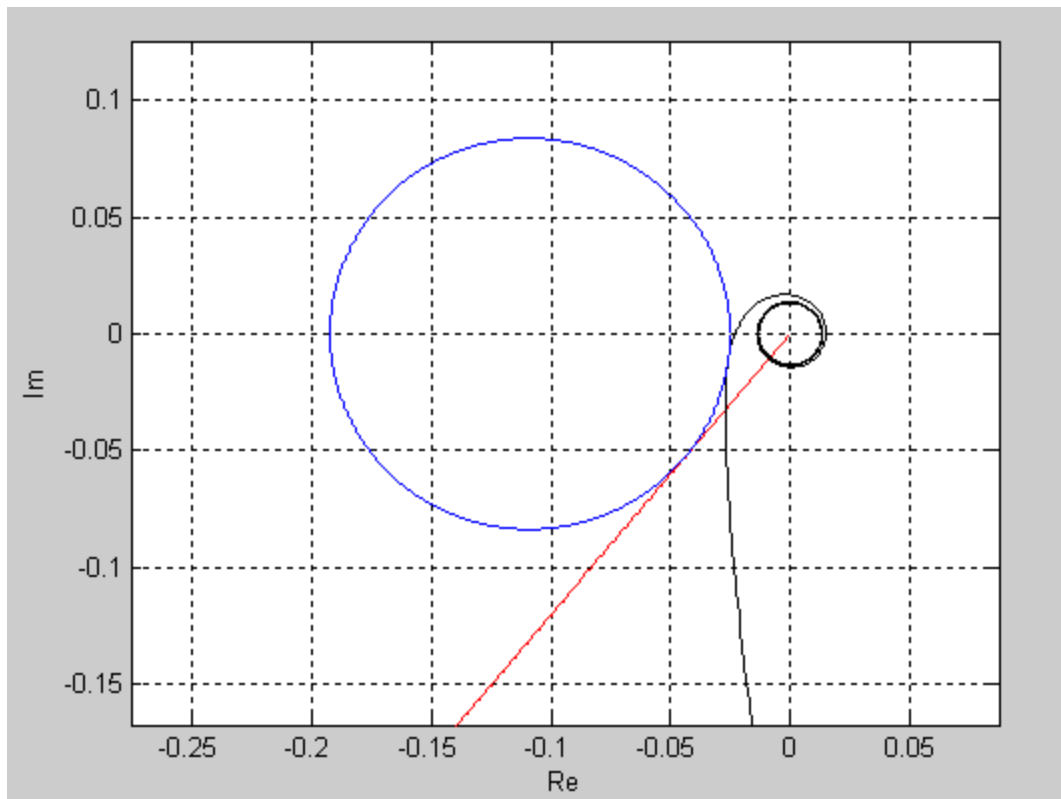


Рисунок 3.6 Метод МАЧХ для ПД-регулятора при  $T_i = 189$ ,  $T_d = 4.928$

Отримали радіус кола  $r=0.08364$ . Розрахуємо оптимальне значення  $K_p$  :

$$K_p = \frac{1}{r} \cdot \frac{M}{M^2 - 1} = \frac{1.3}{0.08364(1.3^2 - 1)} = 22.53$$

3. При  $T_i = 157.52$ ,  $T_d = 7.16$ :

$M=1.3$ ;

$R=0.08714$ ;

```

L=R.*M;
Ti=157.52;
Td=7.16;
x=-20:0.001:0;
x1=-(R+L):0.000001:(R-L);
k=tan(asin(1/M));
y=k*x;
y1=sqrt(R^2-(x1+L).^2);
y2=-sqrt(R^2-(x1+L).^2);
w=0:0.001:20;
p=i.*w;
Wr=(1+1./(p.*Ti)+Td.*p);
Wob=0.4*exp(-16.*p)./(150.*p+1);
W=Wr.*Wob;
Re=real(W);
Im=imag(W);
plot(x,y,'r-',Re,Im,'k-',x1,y1,'b-',x1,y2,'b-');
xlabel('Re');
ylabel('Im');
grid;
axis([-0.6 0.3 -0.8 0.3 ]);

```

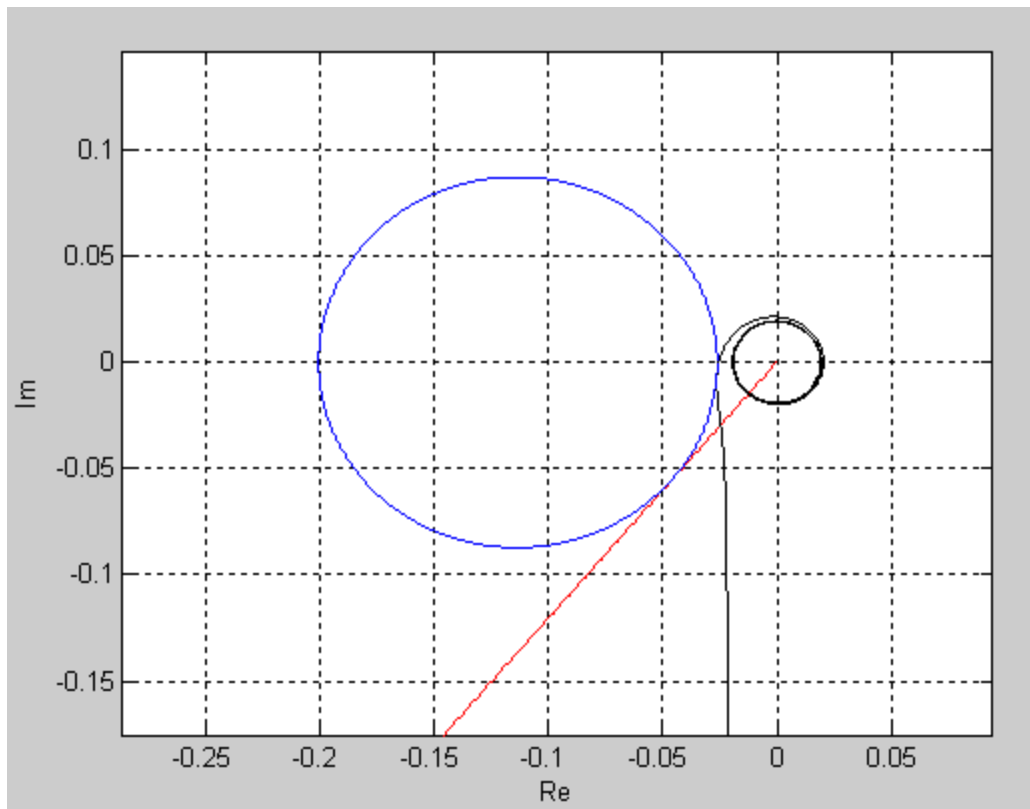


Рисунок 3.7. Метод МАЧХ для ПД-регулятора при  $T_i=157.52$ ,  $T_d=7.16$

Отримали радіус кола  $r=0.08714$ . Розрахуємо оптимальне значення  $K_p$  :

$$K_p = \frac{1}{r} \cdot \frac{M}{M^2 - 1} = \frac{1.3}{0.08714(1.3^2 - 1)} = 21.62$$

4. При  $T_i=158$ ,  $T_d=7.59$ :

$M=1.3$ ;

$R=0.08767$ ;

$L=R \cdot M$ ;

$T_i=158$ ;

$T_d=7.59$ ;

$x=-20:0.001:0$ ;

$x1=-(R+L):0.000001:(R-L)$ ;

$k=\tan(\arcsin(1/M))$ ;

$y=k \cdot x$ ;

$y1=\sqrt{R^2-(x1+L)^2}$ ;

$y2=-\sqrt{R^2-(x1+L)^2}$ ;

$w=0:0.001:20$ ;

$p=i \cdot w$ ;

$Wr=(1+1/(p \cdot T_i)+T_d \cdot p)$ ;

```

Wob=0.4*exp(-16.*p)./(150.*p+1);
W=Wr.*Wob;
Re=real(W);
Im=imag(W);
plot(x,y,'r-',Re,Im,'k-',x1,y1,'b-',x1,y2,'b-');
xlabel('Re');
ylabel('Im');
grid;
axis([-0.6 0.3 -0.8 0.3 ]);

```

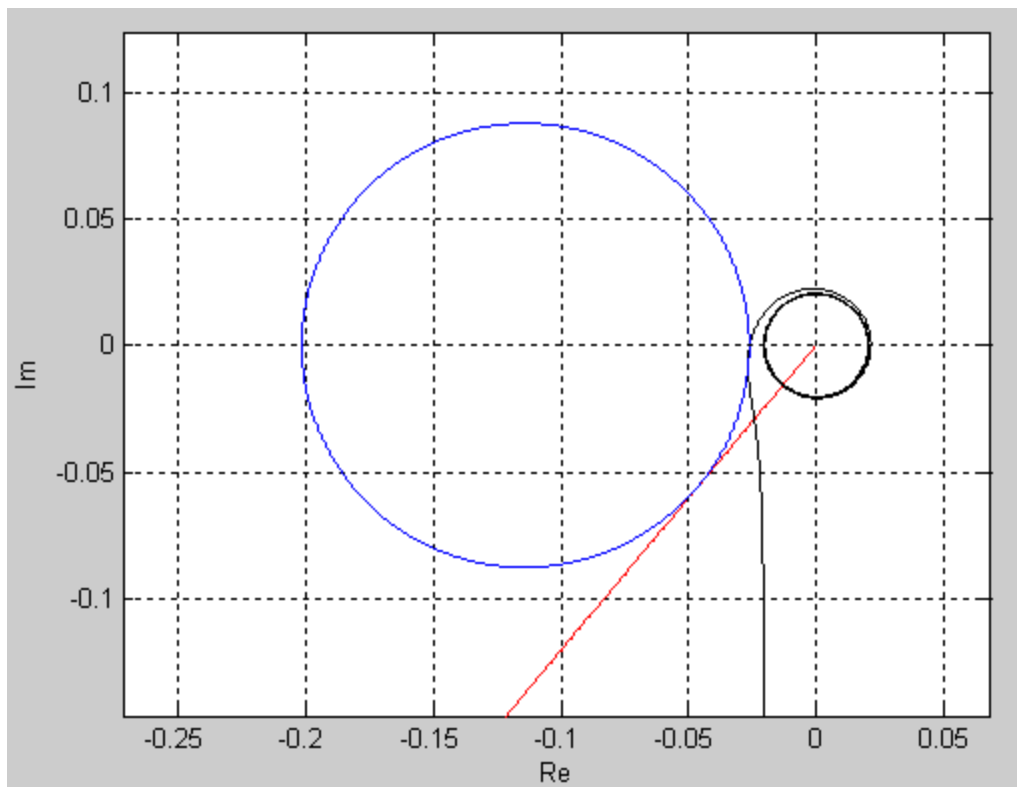


Рисунок 3.8 Метод МАЧХ для ПД-регулятора при  $T_i = 158$ ,  $T_d = 7.59$

Отримали радіус кола  $r = 0.08767$ . Розрахуємо оптимальне значення  $K_p$  :

$$K_p = \frac{1}{r} \cdot \frac{M}{M^2 - 1} = \frac{1.3}{0.08767(1.3^2 - 1)} = 21.49$$

5. При  $T_i = 155.04$ ,  $T_d = 4.88$ :

$M = 1.3$ ;

$R = 0.08482$ ;

$L = R \cdot M$ ;

$T_i = 155.04$ ;

$T_d = 4.88$ ;

$x = -20:0.001:0$ ;

```

x1=-(R+L):0.000001:(R-L);
k=tan(asin(1/M));
y=k*x;
y1=sqrt(R^2-(x1+L).^2);
y2=-sqrt(R^2-(x1+L).^2);
w=0:0.001:20;
p=i.*w;
Wr=(1+1./(p.*Ti)+Td.*p);
Wob=0.4*exp(-16.*p)./(150.*p+1);
W=Wr.*Wob;
Re=real(W);
Im=imag(W);
plot(x,y,'r-',Re,Im,'k-',x1,y1,'b-',x1,y2,'b-');
xlabel('Re');
ylabel('Im');
grid;
axis([-0.6 0.3 -0.8 0.3 ]);

```

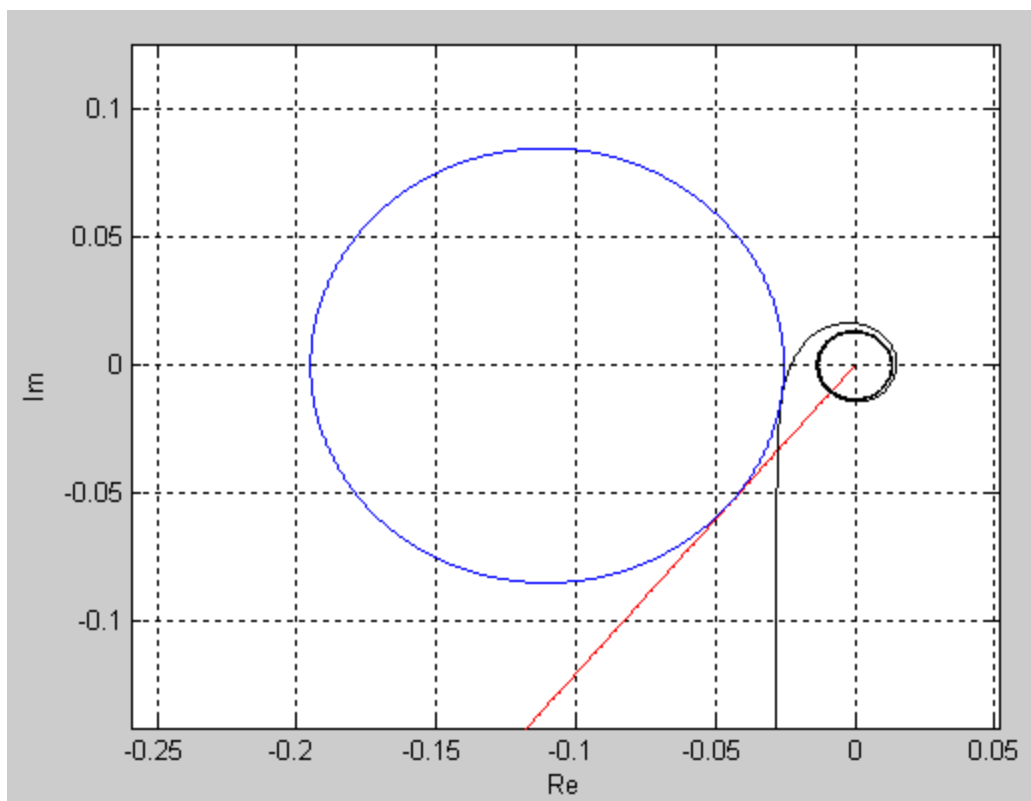


Рисунок 3.9 Метод МАЧХ для ПД-регулятора при  $T_i = 155.04$ ,  $T_d = 4.88$

Отримали радіус кола  $r = 0.08482$ . Розрахуємо оптимальне значення  $K_p$  :

$$K_p = \frac{1}{r} \cdot \frac{M}{M^2 - 1} = \frac{1,3}{0.08482(1,3^2 - 1)} = 22.21$$

Отримані дані зведемо в таблицю і побудуємо залежність  $K_i = f(K_p)$  де

$$K_i = \frac{K_p}{T_i}$$

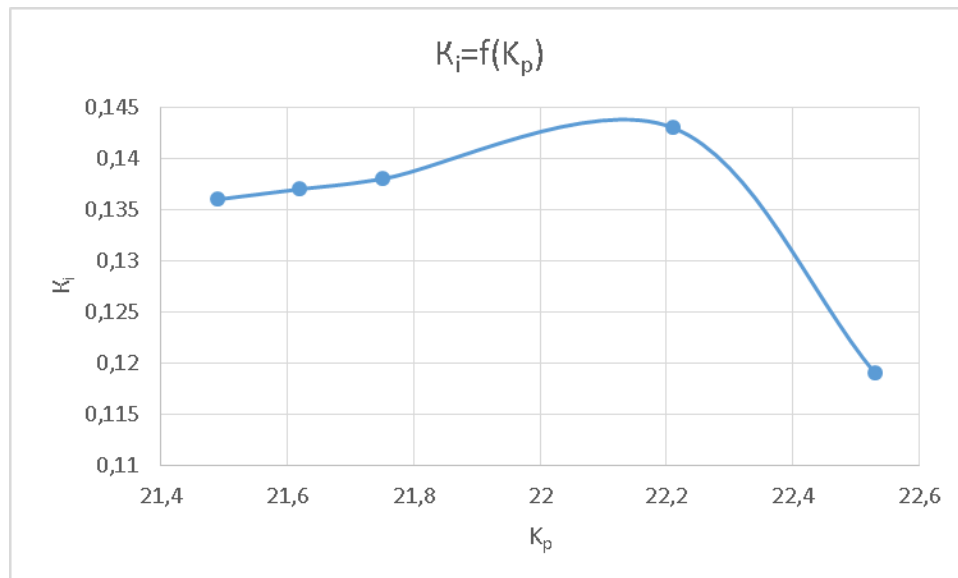


Рисунок 3.10 Екстремальна залежність  $K_p$  та  $K_i$

З рис. 3.10 ми бачимо, що найбільш оптимальна пара:  $T_i = 155.04$ ,

$T_d = 4.88$  та  $K_p = 2.221$ . Побудуємо АЧХ замкненої системи, при :  $T_i = 155.04$ ,

$T_d = 4.88$  та  $K_p = 2.221$ :

$w = 0.00001:0.00001:1.5$ ;

$p = j \cdot w$ ;

$W2 = 2.221 \cdot (1 + 1 / (155.04 \cdot p) + 4.88 \cdot p)$ ;

$W3 = (0.4 \cdot \exp(-16 \cdot p)) / (150 \cdot p + 1)$ ;

$W1 = W2 \cdot W3$ ;

$W = W1 / (1 + W1)$ ;

$Re = \text{real}(W)$ ;

$Im = \text{imag}(W)$ ;

$A = (\text{Re}^2 + \text{Im}^2)^{0.5}$ ;

$\text{plot}(w, A)$

$\text{xlabel}('w')$ ;

$\text{ylabel}('A')$ ;

$\text{grid on}$

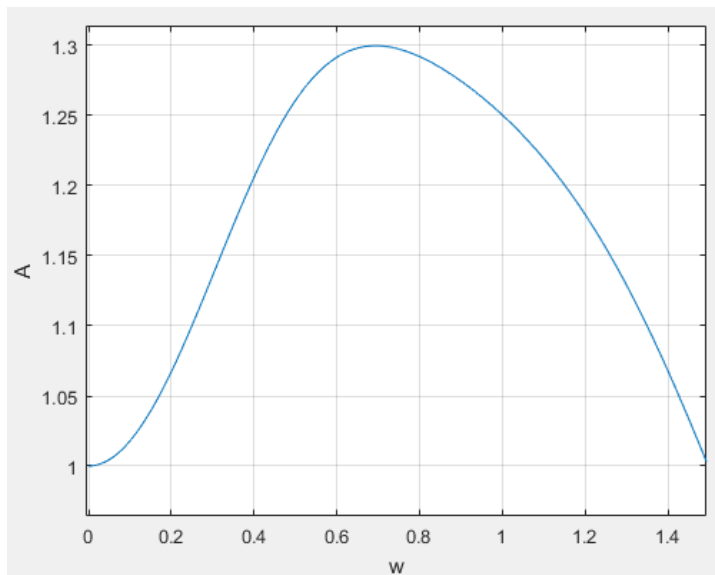


Рисунок 3.11 АЧХ для системи з  $T_i=155.04$ ,  $T_d=4.88$  та  $K_p=2.221$

$$M = \frac{A_{z,c}^{max}(\omega_m)}{A_{z,c}(0)} = \frac{1,2999}{1} = 1.2999$$

### 3.3 Моделювання і синтез АСР

Побудуємо перехідні процеси замкненої АСР за допомогою пакету Matlab та розрахуємо прямі показники якості перехідного процесу по каналам «завдання – вихід» та «збурення – вихід».

Змодельована схема в MATLAB зображена на рис. 3.12.

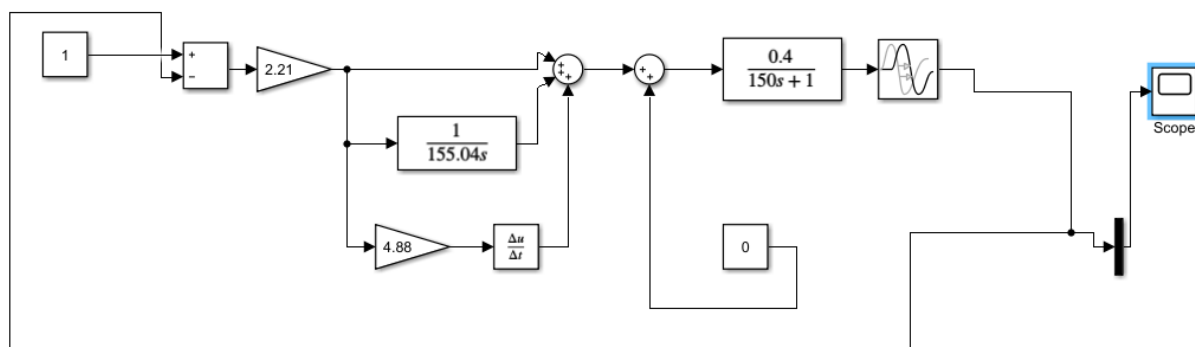


Рисунок 3.12. Змодельована схема в середовищі MATLAB

Результати моделювання на рис. 3.13 та 3.14.

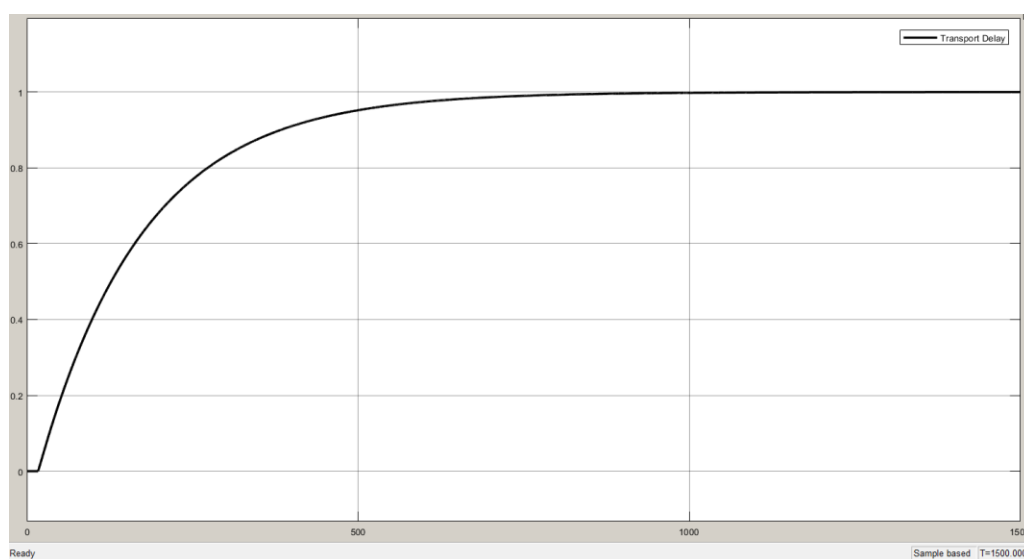


Рисунок 3.13 Перехідні процеси по каналу «завдання-вихід»

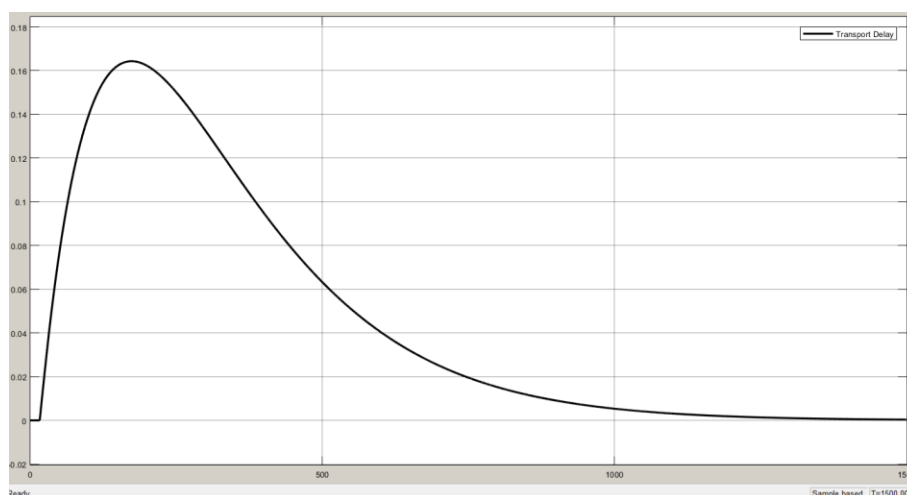




Рисунок 3.14 Перехідні процеси по каналу «збурення-вихід»

Розрахуємо прямі показники якості по двом каналам перехідних процесів з налаштуваннями регулятора отриманими методом РАФХ та експрес методом. Результати розрахунків наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4. Прямі показники якості

Показники якості	Метод МАЧХ «завдання-вихід»	Метод МАЧХ «збурення-вихід»
	М	М
$\Delta_{ст}$	0	0
$\Delta_{дин}$	0	0.164
$\psi$	1	1
$\delta$	0	0
$t_{рег}$	4 93	9 30

## Регулятор із самоналаштуванням

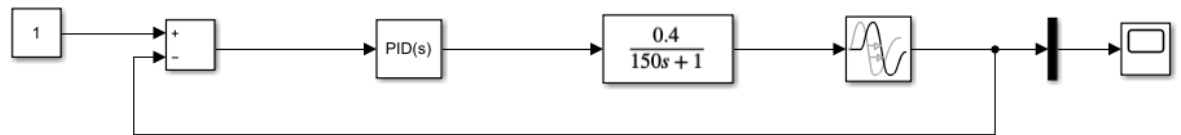


Рисунок 3.15 Змодельована схема в середовищі MATLAB

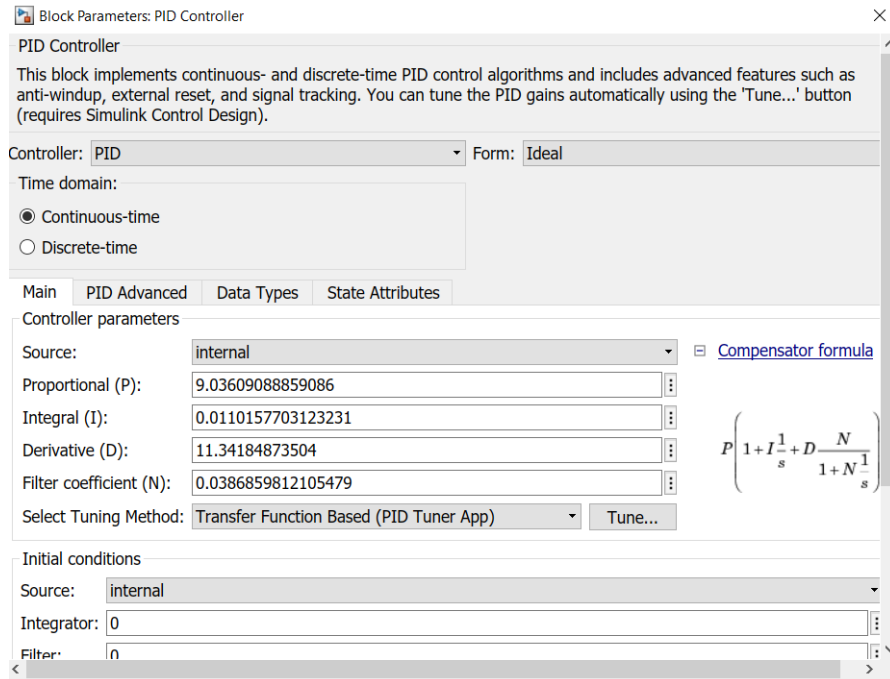


Рисунок 3.16 Налаштування параметрів блоку в середовищі MATLAB

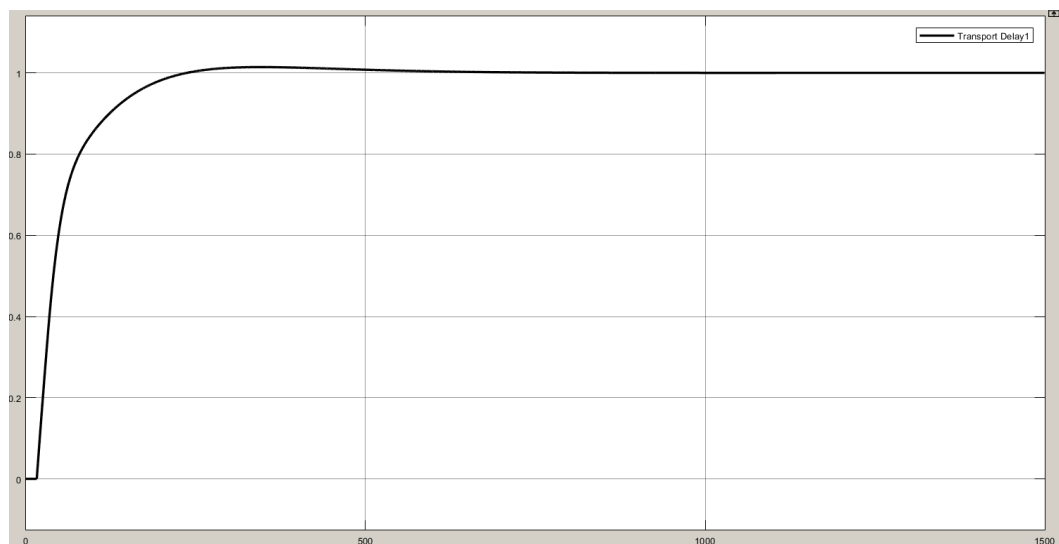


Рисунок 3.17 Отриманий перехідний процес

Таблиця 3.5. Прямі показники якості

Показник якості	Регулятор із самоналаштуванням
$\Delta_{ст}$	0
$\Delta_{дин}$	0.013
$\psi$	1
$\delta$	1.3%
$t_{рег}$	160

### Висновки

Під час виконання даного розділу у середовищі MATLAB було проведено розрахунок ПД-регулятора за допомогою методу максимуму амплітудно-частотної характеристики та методу самоналаштування ПД-регулятора. Після побудови перехідних процесів і знаходження прямих показників якості, за таблицями 3.4 і 3.5 можна зробити висновок, що регулятор з самоналаштуванням дає кращий результат за такими показниками, як динамічна похибка і час регулювання .

### 3.4 Імітаційне моделювання

Для виконання моделювання системи в даному проєкті було використано середовище розробки Sapro від Siemens. В даному середовищі було розроблено інтерфейс, що дає змогу користувачу швидко доступитися до налаштувань необхідних параметрів, їх контролю та регулювання. За допомогою наявної функції побудови трендів можна у будь-який час спостерігати за змінами параметрів у графічному форматі. Журнал аварій, що також реалізується в даній програмі, дає можливість фіксувати наявні аварії, сортувати їх за пріоритетністю, підтверджувати їх, а також за необхідності формувати відповідні звіти у форматі PDF або Excel.

На рисунках нижче представлені основні меню даної системи диспетчеризації:

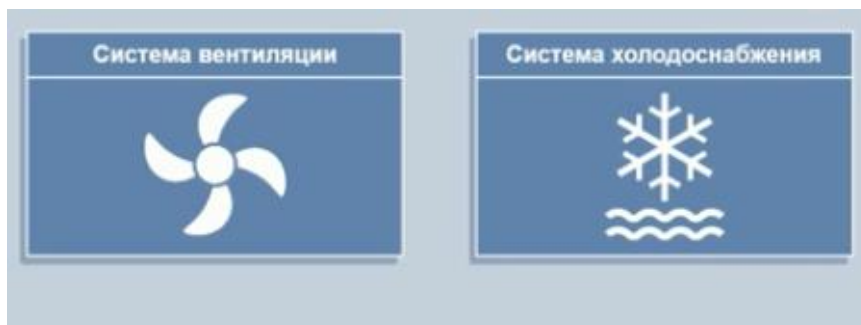


Рисунок 3.18 Головний екран системи диспетчеризації

На головному екрані бачимо доступ до двох інженерних систем – системи вентиляції та системи холодопостачання.

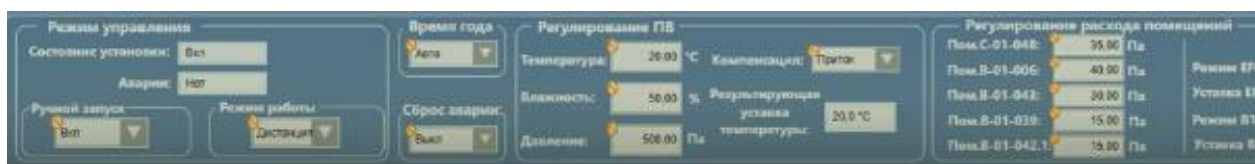


Рисунок 3.19 Область управління і регулювання



Рисунок 3.20 Кнопки переходу в меню «Тренды» та «Основные настройки»

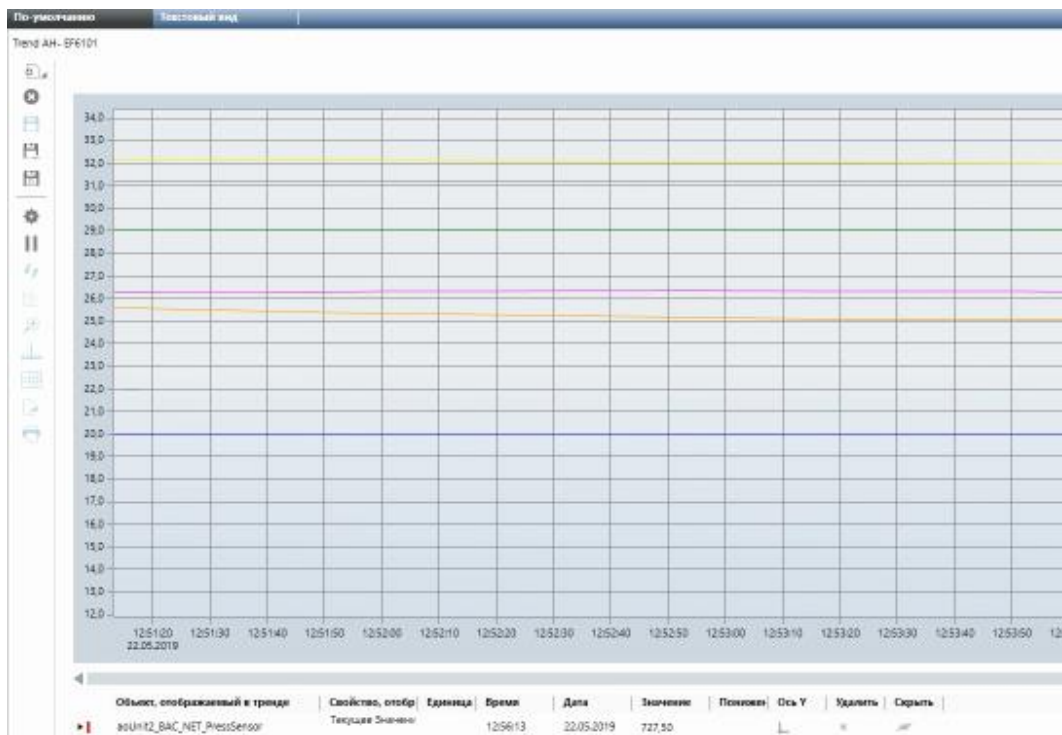


Рисунок 3.21 Відкрите вікно трендів

Рисунок 3.22 Вікно налаштування параметрів вентиляторів

Рисунок 3.23 Налаштування вентиляторів

Категория	Причина	Состояние
Высокий	Авария вентилятора вытяжки B10 (Есть)	Подтверждено
Высокий	Авария вентилятора притока (П2B2) (Есть)	Подтверждено
Высокий	Авария насоса2 (ХВП2) (Есть)	Подтверждено
Низкий	Насосы 3-4 не в режиме "Авто" (ХВП2) (Есть)	Подтверждено
Высокий	Авария насоса4 (ХВП2) (Есть)	Подтверждено
Высокий	Авария насоса1 (ХВП1) (Есть)	Подтверждено
Низкий	Насосы 1-2 не в режиме "Авто" (ХВП1) (Есть)	Подтверждено
Высокий	Нет подтверждения работы насоса3 (ХВП2) (Есть)	Подтверждено

Рисунок 3.24 Журнал аварій

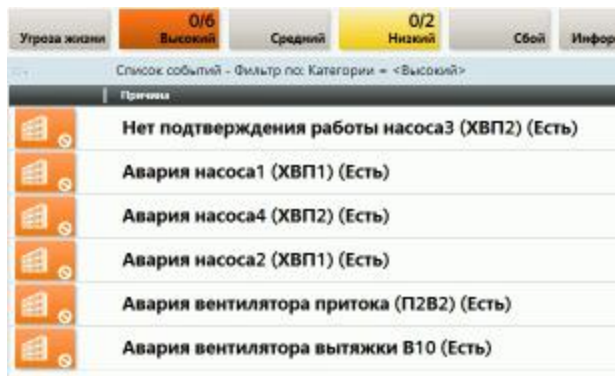


Рисунок 3.25 Панель доступа до активнних аварій, що розділені в залежності від пріоритету

## РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

### 4.1 Опис ідеї проекту

Основною ідеєю створення даного стартап-проекту є представлення замовнику рішення з впровадження на об'єкті сучасної VRF-системи, яка б забезпечила належне кондиціонування повітря і підтримання бажаної температури у всіх приміщеннях.

Головні проблеми, які виникають на подібних об'єктах:

- Зміна температури повітря (нагрівання або охолодження) незалежно в кожному приміщенні;
- Зміна вологості (зволоження або осушення);
- Видалення шкідливих компонентів у повітрі (фільтрація з рециркуляцією, зміна відпрацьованого повітря на свіже зовнішнє повітря, комбінація цих способів);
- Кондиціонування повітря та підтримання температури в приміщеннях, де неможливе провітрювання;
- Змінна сонячна радіація, що призводить до нестаціонарності процесів теплообміну у всіх приміщеннях;
- Різне теплове навантаження у різних приміщеннях;
- Конфігурація будівлі (геометрія і поверховість) і її архітектурні особливості (зовнішні і внутрішні).

Для вирішення описаних вище проблем пропонується інсталяція сучасного якісного обладнання та подальше впровадження автоматизованої системи управління установкою.

Головні напрямки застосування запропонованого стартап-проекту та вигоди для користувача наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 Опис ідеї стартап-проекту



Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Встановлення та автоматизація мультизональної системи кондиціонування із змінною витратою холодоагенту	Використання в системі інверторного компресора, що працює від двигуна постійного струму	Зниження споживання електроенергії на величину 25%
	Нова конструкція оребрення теплообмінних апаратів: на оребрення нанесено гідрофільне покриття, а в трубках передбачені внутрішні засічки	Підвищення ефективності поверхні теплообміну, більш швидка конденсація холодоагенту
	Оснащення системи алгоритмом зміни температури кипіння холодоагенту в залежності від теплового навантаження	Економія на електроенергії за рахунок ефективного режиму роботи компресора
	Встановлення сучасного промислового контролеру та налаштування параметрів процесу	Технологічний процес стає більш продуктивним, не потребує частих втручань людини

Продовження таблиці 4.1

	Розробка сучасної системи диспетчеризації	Попередженн я небажаних аварійних ситуацій за рахунок можливості постійного моніторингу параметрів, ефективність роботи системи покращена за допомогою аналізу та оптимізації даних, що постійно архівуються
--	---	--

Беручи до уваги те, що напрямок теми даного стартап-проекту є не дуже поширеним на даний час у нашій країні, важливим аспектом є визначення кола потенційних конкурентів. Перед порівняльним аналізом проекту, що пропонується замовнику, з проектом конкурентів необхідно визначити перелік основних техніко-економічних характеристик проекту:

1. Системний підхід до вирішення поставленої замовником задачі;
2. Можливість представити замовнику перелік нестандартних конструктивних рішень щодо реалізації механічної частини системи (компресор постійного струму, оребрення теплообмінного апарату з гідрофільним покриттям, трубки з внутрішніми засічками і т.д.);

3. Автоматизація запропонованої мультизональної системи кондиціонування (використання промислових контролерів, налаштування регуляторів, реалізація автоматичних захистів, блокувань, сигналізації тощо);
4. Диспетчеризація системи (відображення параметрів процесу на мнемосхемах, архівування даних технологічного процесу, можливість доступу до журналу аварій та подій, представлення даних у зручній формі таблиць, трендів або діаграм, можливість налаштування різного рівня доступу для користувачів операторської станції тощо);
5. Використання промислового сучасного контролеру, а також високорівневих мов програмування дозволяють вирішувати унікальні задачі, що ставить замовник перед розробниками, можливість зміни та удосконалення програмних рішень в процесі експлуатації системи;
6. Монтаж установки та пуско-налагоджувальні роботи на об'єкті, гарантійне та постгарантійне обслуговування системи за вимогою замовника.

Враховуючи напрямок та тематику проекту, а також основні техніко-економічні характеристики було знайдено компанію, що може скласти конкуренцію даному проекту, це компанія Dantex.

Мультизональні системи Dantex[] — це потужне й економічне рішення для енергоефективного регулювання клімату в багатоповерхових будівлях різного призначення. Новітні технології кондиціонування та сучасні методи централізованого керування гарантують надійність і якість високого рівня.

Системи кондиціонування Dantex надають високі показники енергоефективності із забезпеченням максимального комфорту для прямих користувачів систем. У даних системах знаходять застосування інноваційні рішення, які раніше не були використані в установках інших виробників.

З основних особливостей можна виділити систему Dual Sensing Control, нові інверторні компресори, антикорозійне покриття, функцію безперервного нагріву і покращену продуктивність зовнішнього блоку.

Dual Sensing Control - це одночасний контроль температури і вологості, який відстежує основні показники для ефективного охолодження і нагрівання. Оновлені інверторні компресори досягають нового горизонту холодопродуктивності - до 72 кВт.

Можливість контролю двох параметрів повітря всередині і зовні приміщення допомагає регулювати внутрішні кліматичні умови для всіх відвідувачів більш ефективно. На відміну від існуючих систем, система Dantex забезпечує відслідковування не тільки температури, але і рівня відносної вологості всередині і поза приміщенням.

Інверторний компресор в установках Dantex став надійніше і довговічніше. Розширений діапазон частот 10 Гц - 165 Гц досягає необхідних параметрів в приміщенні з кондиціонером набагато швидше і має покращену ефективність при часткових навантаженнях.

Нова конструкція вентилятора з 4-х стороннім теплообмінником і вже згаданим інверторним компресором, дозволяє розширювати лінійку одиночних модулів до (72,8 кВт). Покращена продуктивність разом з більшою довговічністю дає великі можливості для проектування системи кондиціонування.

Більш того, теплообмінник зовнішнього блоку покритий антикорозійним покриттям з подвійним захистом. Промислові забруднення, пил, сіль або пісок не будуть заважати нормальному функціонуванню системи. Менші витрати на технічне обслуговування і, знову ж таки, більш тривалий термін довговічності.

З інформації, знайденої на сайті компанії-конкурента можна зробити висновок, що головною метою проектів конкурента є винайдення нових або ж вдосконалення вже існуючих інженерних рішень, що стосуються вдосконалення конструкції блоків і їх конкретних деталей окремо. Що стосується рішень з автоматизації та диспетчеризації системи, то даних про розробки конкурента у цій галузі не було знайдено, окрім системи одночасного контролю температури і вологості. Таким чином має місце припущення, що для системного вирішення задач замовника компанія Dantex буде вимушена звернутися до підрядників, що реалізують проекти саме з автоматизації виробництва.

Підсумовуючи вищеописані порівняння, можна зробити висновок, що великою перевагою перед конкурентами є комплексний підхід до вирішення задач замовника, включаючи рішення з автоматизації та диспетчеризації, та їх розробка та реалізація в повному обсязі на всіх етапах.

## 4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Даний стартап-проект впроваджує декілька технологічних рішень, які потребують від виконавця компетенцій різного роду. Проект об'єднує в собі застосування електротехнічного обладнання (виконавчі механізми, датчики, контролер), механічного обладнання (компресори, теплообмінні апарати і т.д.) та програмного забезпечення (система диспетчеризації).

Основні технології, що використані в проекті описано у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Зниження споживання електроенергії	Використання інверторних компресорів	Наявна	Доступна

Продовження таблиці 4.2

Збільшення поверхні теплообміну	Нова конструкція оброблення теплообмінних апаратів	Наявна	Доступна
Автоматизація технологічного процесу	Налаштування регуляторів та розробка алгоритмів	Наявна	Даний етап потребує спеціаліста з певним рівнем кваліфікації

	керування технологічним процесом		для програмування контролера
Диспетчер изація системи	Налашту вання SCADA- системи	Н аявна	Даний етап потребує спеціаліста з певним рівнем кваліфікації для програмування системи диспетчеризації

## **4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту**

### **4.3.1 Огляд ринку**

Потенційними замовниками даного стартап-проекту є великі об'єкти нерухомості в Україні та за її межами. Важко стверджувати, скільки в Україні на даний момент налічується об'єктів такого типу, тому розглянемо актуальні тенденції, що спостерігаються на ринку кліматизації великих об'єктів нерухомості і є характерними для нашої країни[1].

Жоден великий об'єкт, як наприклад торговий або офісний центр, готель або ресторан, промислове підприємство або логістичний комплекс - не може обійтися без ефективної системи кліматизації. Які ж тенденції спостерігаються на ринку кліматизації великих об'єктів нерухомості?

Безумовно, кліматичне обладнання затребуване на українському ринку, але сам ринок має різні сегменти, які відрізняються за своєю динамікою розвитку: побутова гамма (спліт-системи і мультиспліт-системи), напівпромислове обладнання та промислове обладнання (мультизональні системи і системи чилер-фанкойл), а також установки обробки повітря, холодильні системи для технологічного охолодження, теплові насоси та ін.

Наприклад, за оцінками експертів, в побутовому сегменті обладнання зростання спостерігається, в основному, по китайській техніці, а в сегменті VRV / VRF спостерігається зростання (5-10)% і по більш дорогому, і по менш дорогому обладнанні.

За деякими сегментами (наприклад, VRF-системи), в 2018-2019 рр., ринок кліматичної техніки практично відновив свої обсяги до рівня 2013 року, як за рахунок появи нових гравців на ринку, так і за рахунок декількох компаній, які давно працюють і зарекомендували себе на ринку.

Експерти відзначають, що на сьогоднішній день кліматичний ринок головним чином розділений на два цінові сегменти: преміум і бюджетний, середній сегмент практично відсутній.

Традиційно, всі замовники намагаються мінімізувати свої капітальні витрати, і перед остаточним прийняттям рішення про вибір постачальника обладнання, досить довго проводять моніторинг ринку, порівнюють отримані

пропозиції і т.д. На жаль, не завжди перевага віддається професійним структурам, включаючи також проектні та монтажні організації, що в подальшому призводить до численних помилок і необхідності їх виправлення на об'єкті.

Що стосується розвитку ринку кліматичної техніки, в тому числі, в частині оснащення великих об'єктів нерухомості, то експерти прогнозують подальшу структуризацію ринку і спеціалізацію операторів на конкретних напрямках, а також продовження інтеграції України в європейський кліматичний ринок - як в законодавчому плані, так і в плані пріоритетного впровадження обладнання за технічними характеристиками і функціональними можливостями.

Більш детальний аналіз ринку наведено в таблиці 4.3

Таблиця 4.3 Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

Показники стану ринку	Характеристика
Динаміка ринку	Зростає



Продовження таблиці 4.3

<p>Наявність обмежень для входу</p>	<p>Одним з можливих обмежень є вимоги деяких замовників щодо представлення розгорнутого опису аналогічних проектів, що вже були виконані та надання позитивних рекомендацій від інших замовників, проекти яких було реалізовано. Другим обмеженням, що може унеможливити вхід на ринок, є вимоги деяких замовників про надання повної фінансової звітності та вимоги про доведення можливості компанії виконавця виконати заявлений обсяг робіт.</p> <p>Третім можливим обмеженням є вимоги деяких замовників щодо умов оплати виконаних проектів - оплата проекту (часткова або повна) передбачена вже після завершення проекту, це потребує від компанії-виконавця мати певний запас коштів, щоб попередньо реалізувати проект за власний рахунок.</p>
-------------------------------------	--

Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
Середня норма рентабельності по ринку	Не менше 60%

Аналізуючи отримані дані можна зробити висновок, що ринок кліматизації великих об'єктів нерухомості є достатньо привабливим для входу та існуючі обмеження для входу є незначними та суттєво не стають на заваді для входу на ринок. За наявності достатніх капіталовкладень більшість обмежень може буде подолана на початкових етапах проекту, а інша частина буде несуттєвою після того, як проект вже займе своє місце на ринку.

#### **4.3.2 Огляд цільової аудиторії**

Даний стартап-проект має досить широку цільову аудиторію, так як технології, які в ньому використовуються дозволяють вводити в експлуатацію дану установку в приміщеннях досить різного типу, адже VRF-системи кондиціонування є універсальними комплексами для роботи в приміщеннях з величезною площею. Середня система такого типу здатна працювати в приміщенні об'ємом від 150 до 500 м<sup>2</sup>.

#### **4.3.3 SWOT аналіз**

Для розробки альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок виконується SWOT аналіз ((матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities)) (таблиця 5.4). Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення. Наприклад: зниження доходів потенційних споживачів – фактор загрози, на основі якого можна зробити прогноз щодо

посилення значущості цінового фактору при виборі товару та відповідно, —  
цінової конкуренції (а це вже — ринкова загроза).

Таблиця 5.4 SWOT аналіз

<p><b>Сильні сторони:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Системний підхід до вирішення конкретної проблеми, поставленої замовником</li> <li>• Застосування сучасного електротехнічного обладнання</li> <li>• Підвищення енергоефективності системи</li> <li>• Збільшення продуктивності технологічного процесу</li> <li>• Зменшення витрат на виплату обслуговуючому персоналу</li> <li>• Зменшення кількості простоїв обладнання</li> </ul>	<p><b>Слабкі сторони:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Система залежна від роботи інших систем, задіяних в процесі, таких як, наприклад, електроживлення</li> <li>• Повністю виключити вплив людини на систему неможливо</li> </ul>
<p><b>Можливості:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Інсталяція запропонованої установки та її подальший синтез з вентиляційною установкою, встановленою на даному об'єкті</li> <li>• Оптимізація технологічного процесу за рахунок аналітики отриманих в ході експлуатації даних</li> </ul>	<p><b>Загрози:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Вимкнення електроживлення</li> <li>• Втручання персоналу без належної кваліфікації в роботу системи</li> <li>• Вихід обладнання з ладу</li> </ul>

На основі проведеного SWOT аналізу можна зробити висновок про те, яку стратегію слід обрати для конкурентної поведінки на ринку. Якщо врахувати той фактор, що в досліджуваній галузі досить багато конкурентоспроможних гравців, головним вектором ринкової поведінки має бути позиціонування компанії, як висококваліфікованого експерта в напрямку

розробки та впровадження автоматизованих енергоефективних мультизональних систем кондиціонування повітря.

#### **4.5 Розробка маркетингової програми стартап-проекту**

##### **4.5.1 Визначення меж встановлення ціни**

Враховуючи характерні особливості проекту та те, що заздалегідь неможливо провести приблизний розрахунок вартості реалізації, адже в кожному окремому випадку замовником можуть бути висунуті вимоги, що характерні для його об'єкту, наприклад особливості архітектури будівлі, для якої встановлюється система, кількість приміщень, що також може досить відрізнятися в контексті різних об'єктів, кількість людей, що буде працювати в заявлених приміщеннях, різні теплові навантаження в окремих зонах, то верхні та нижні межі цін, що встановлюються будуть коливатися в залежності від індивідуальних потреб замовника та внутрішніх факторів, які можуть впливати на компанію в момент обрання меж цін.

##### **4.5.2 Формування системи збуту**

При формуванні системи збуту в даній галузі мультизонального кондиціонування основний вектор зусиль – це вплив на осіб, які очолюють компанії або займають керівні посади (власники підприємств, комерційні директори, головні інженери тощо). Для здійснення впливу на цих осіб найбільш ефективним способом буде участь у публічних заходах, розробка високоякісного спеціалізованого контенту та розповсюдження його різним чином (конференції, форуми, соцмережі і т.д.). Головною метою системи збуту є представлення гравцям ринку інформації про нові інженерні розробки в проекті і про унікальність установки в своїй галузі, а також зарекомендувати компанію як кваліфікованого та досвідченого експерта в галузі.

#### **4.6 Висновки**

Беручи за основу проведений аналіз можна зробити висновок, що в даному випадку має місце комерціалізація проекту. Актуальні тенденції розвитку ринку кліматичної техніки та статистичні факти підтверджують швидкий темп розвитку в приведеній галузі, високу рентабельність проекту і попит на нього. Враховуючи специфіку галузі кондиціонування та несуттєву конкуренцію в області автоматизації та диспетчеризації даних систем,

запропоновані в стартап-проекті рішення є перспективними для залучення інвесторів і розширенням сфери впливу в галузі.

## ВИСНОВКИ

В ході виконання даної магістерської дисертації було розглянуто таку тему як «Автоматизація мультизональної системи кондиціонування». Під час пошуку інформації в даній галузі основним напрямком досліджень було обрано VRF –системи (Variable Refrigerant Flow), що мають на увазі під собою системи зі змінною витратою холодоагенту. В подальшій роботі було виконано чотири розділи, в кожному з яких детально розглядались певні вирішення проблематики.

В першому розділі було проаналізовано сучасний стан галузі: розглянуто технічні особливості кліматичних систем, представлених на ринку, визначено певні критерії, на які слід звертати увагу при виборі системи кондиціонування для великого за площею об'єкта, а також була розглянута приблизна класифікація систем, що надала загальне уявлення про масштаб розвитку даної техніки і її важливість при створенні мікроклімату в приміщеннях.

В другому розділі увага приділялась опису об'єкту управління і з'ясування його детальних характеристик і основ роботи. Було досліджено роботу VRF-системи при низьких температурах, розглянуто особливості роботи холодильного контуру і електронного ТРВ. Також одним з головних напрямків досліджень був компресор постійного струму.

В третьому розділі було виконано розрахунки налаштувань регулятора даної системи двома різними методами – МАЧХ і з самоналаштуванням. Після побудови графіків перехідних процесів, знаходження та порівняння прямих показників якості, було зроблено висновок, що процес, розрахований другим способом має кращі характеристики, а саме менші значення динамічної похибки і часу регулювання. Також в даному розділі в спеціальному середовищі розробки було виконано імітаційне моделювання системи, що представляє комплекс мнемосхем, графіків і таблиць і дає змогу користувачу керувати процесом дистанційно з робочого місця.

Четвертий розділ мав на меті розробку стартап-проекту і його дослідження на різних етапах впровадження. Після досліджень можна зробити висновок, що має місце комерціалізація проекту. Актуальні тенденції розвитку

ринку кліматичної техніки та статистичні факти є підтвердженням швидкого темпу розвитку в галузі і гарантують високу рентабельність проекту і попит на нього. Враховуючи невелику конкуренцію в області автоматизації та диспетчеризації даних систем, запропоновані рішення є перспективними для подальшого розвитку, інвестування і впровадження на ринку.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Брух С.В. VRF-системы кондиционирования воздуха. Особенности проектирования, монтажа, наладки и сервиса. — М.: ООО «Компания БИС», 2017. 360 с.
2. Design technical manual. Airstage VIII Fujitsu General. DTV\_V3E040E\_02.
3. Сотников А.Г. Системы кондиционирования воздуха с количественным регулированием. — Ленинград: Стройиздат, 1976. 168 с.
4. Брух С.В. Анализ VRF-систем. Алгоритмы управления производительностью // Журнал С.О.К., 2017. №9. С. 70–74.
5. Бондарь Е.С., Гордиенко А.С. и др. Современные системы вентиляции и кондиционирования воздуха. Уч. пособие. Киев:Видавничий будинок «Аванпост-Прим», 2005. — С. 104-116.
6. Изерман Р., Цифровые системы управления: пер. с англ. — М.: Мир, 1984. — С. 309-339.
7. Сотников А. Г. Автоматизация систем кондиционирования воздуха и вентиляции. - Л.: Машиностроение, 1984. — С. 84-93.
8. Кокорин О. Я. Современные системы кондиционирования воздуха. - М.: Физматлит, 2003. — С. 236-239.
9. <http://fortstroj.com.ua/stroitelstvo/stati/item/3094>
10. [http://www.rfclimat.ru/htm/con\\_vrf.htm](http://www.rfclimat.ru/htm/con_vrf.htm)
11. <http://bclimate.ru/cond/vrv>
12. [https://www.projectclimat.ru/info/articles/multissplit\\_sistema](https://www.projectclimat.ru/info/articles/multissplit_sistema)
13. [http://www.ecvest.ru/docrazdel.php?category\\_id=536](http://www.ecvest.ru/docrazdel.php?category_id=536)
14. <https://works.doklad.ru/view/kCqV4cOhlb8/all.html>
15. <https://ddugroup.ua/products/18/>
16. <http://vuz-24.ru/nex/vuz-51571.php>
17. Методика расчёта VRF-систем для помещений с неравномерным тепловым режимом Архив С.О.К. 2017 №11
18. [https://www.mirklimata.info/archive/2017\\_5/tehnologii\\_sovremennih\\_multizonalnih\\_sistem\\_kondicionirovaniya/](https://www.mirklimata.info/archive/2017_5/tehnologii_sovremennih_multizonalnih_sistem_kondicionirovaniya/)

19. [https://www.hvacschool.ru/vestnik\\_ano/vestnik\\_ano\\_ukc\\_universitet\\_18/kompressori\\_postojannogo\\_toka/](https://www.hvacschool.ru/vestnik_ano/vestnik_ano_ukc_universitet_18/kompressori_postojannogo_toka/)
20. <https://www.c-o-k.ru/articles/kondicionery-i-energopotreblenie-problema-xxi-veka>
21. [http://www.bclimate.ru/article-vrv/article\\_5\\_8.php](http://www.bclimate.ru/article-vrv/article_5_8.php)
22. <http://www.xiron.ru/content/view/31384/28/>
23. [https://controlengrussia.com/innovatsii/primenenie\\_samonastraivajushchikhsja-reguljatorov/](https://controlengrussia.com/innovatsii/primenenie_samonastraivajushchikhsja-reguljatorov/)
24. <https://mitsubishi-electric-russia.ru/pac-mk50bc-blok-raspredelenija-xladagenta-mitsubishi-electric>
25. <https://blog.vents.ua/articles/klassifikacija-sistem-kondicionirovaniya-i-ventilyacii.html>
26. <http://www.sveko.com.ua/viewcatalog/cID/1/>
27. <http://www.mebius.ua/about/news/sistemy-konditsionirovaniya-vrv-i-vrf/>
28. [http://www.ecvest.ru/docrazdel.php?category\\_id=1406](http://www.ecvest.ru/docrazdel.php?category_id=1406)
29. [https://www.daikin.am/ru\\_ru/about/daikin-innovations/variable-refrigerant-volume.html](https://www.daikin.am/ru_ru/about/daikin-innovations/variable-refrigerant-volume.html)
30. <https://nse.com.ua>
31. [https://www.academia.edu/34605877/Thermal\\_Dynamic\\_Modeling\\_and\\_Simulation\\_of\\_a\\_Heating\\_System\\_for\\_a\\_Multi-Zone\\_Office\\_Building\\_Equipped\\_with\\_Demand\\_Controlled\\_Ventilation\\_Using\\_MATLAB\\_Simulink](https://www.academia.edu/34605877/Thermal_Dynamic_Modeling_and_Simulation_of_a_Heating_System_for_a_Multi-Zone_Office_Building_Equipped_with_Demand_Controlled_Ventilation_Using_MATLAB_Simulink)

## **ДОДАТОК А**

Апробація

Аркушів 10

2019

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

# СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ НАУКОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИКИ

Матеріали XVII Міжнародної  
науково-практичної конференції  
молодих вчених та студентів  
м. Київ, 23-26 квітня 2019 року,

ТОМ 2



Київ- 2019

Використання теоретико-ігрового підходу для забезпечення якості функціонування (ЗЯФ) людино-машинних систем (ЛМС).	16
<i>ГЕРАСИМЕНКО Л.О., -магістрант гр. ТА-81мп</i>	
<i>Карієник – доц., к.т.н. Бунь В.П.</i>	
Використання Machine learning в промисловості	17
<i>ГРИГЧУК Д.Т., -магістрант гр. ТО-81мп</i>	
<i>Карієник –доц., к.т.н. Степанець О.В.</i>	
Регулювання мікроклімату на базі нечіткої логіки.	18
<i>ДИШТЮК В.М., магістрант гр. ТО-81мп</i>	
<i>Карієник - ст. викл. Штіфзон О.Й.</i>	
Адаптивна система регулювання опалення.	19
<i>ДИШТЮК Р.М., магістрант гр. ТО-81мп</i>	
<i>Карієник - ст. викл. Штіфзон О.Й.</i>	
Проблематика систем управління бойлерною станцією сміттєспалювального заводу.	20
<i>ДУДНИК С.О., магістрант гр. ТО-81мп</i>	
<i>Карієник - викл., к.т.н. Поліщук І.А.</i>	
Системи автоматичного захисту та блокування бойлерної станції сміттєспалювального заводу.	21
<i>ДУДНИК С.О., магістрант гр. ТО-81мп</i>	
<i>Карієник - викл., к.т.н. Поліщук І.А.</i>	
Системи автономного енергозабезпечення	22
<i>КОВАЛЬЧУК Д.О., магістрант гр. ТА-81мп</i>	
<i>Карієник - доц., к.т.н. Бунь О.С.</i>	
Застосування інгібіторів корозії для захисту внутрішньої поверхні резервуарів нафтопродуктів	23
<i>КОВАЛЬЧУК Г.О., магістрант гр. ТО-81мп</i>	
<i>Карієник - ст. викл. Накрашавич О.В.</i>	
Математичні методи Fuzzy-logic контролера для керування технологічними об'єктами керування.	24
<i>КУЗІН М.Ю., магістрант гр. ТА-81мп.</i>	
<i>Карієник - доцент, к.т.н. Басан Т.Г.</i>	
Система автоматизації енергоефективного приватного будинку.	25
<i>ЛИСАК Д.Ю., магістрант гр. ТА-81мп</i>	
<i>Карієник - асист. Гікало П.В.</i>	
Спосіб регулювання інерційних технологічних параметрів з використанням двоканального нечіткого контролера	26
<i>МЕЛЬНИК К.І., магістрант гр. ТА-81мп</i>	
<i>Карієник - асист. Новіков П.В.</i>	
Математична модель мікроклімату теплиці.	27
<i>ПОЛІЩКО Ю.В., магістрант гр. ТА-81мп</i>	
<i>Карієник - доц., к.т.н. Накрашавич О.В.</i>	
Проблематика впровадження систем автоматизованого обслуговування технологічного обладнання.	28
<i>РЕЗНИК Д.О., магістрант гр. ТО-81мп</i>	
<i>Карієник - ст. викл. Поліщук І.А.</i>	
Адаптивна система регулювання параметрів мікроклімату виробничого приміщення із застосуванням нечіткої логіки.	29
<i>СКОВОРОДА Я.В., магістрант гр. ТО-81мп</i>	
<i>Карієник - доц., к.т.н. Бунь В.П.</i>	
Аналіз налаштування регулятора впорску парохолодильника.	30
<i>СТРИКАЛЬ О. І., студент гр. зТА-81мп</i>	

### ЗАСТОСУВАННЯ ІНГІБІТОРІВ КОРОЗІЇ ДЛЯ ЗАХИСТУ ВНУТРІШНЬОЇ ПОВЕРХНІ РЕЗЕРВУАРІВ НАФТОПРОДУКТІВ

У нафтовій промисловості для зниження корозії широко застосовуються інгібітори корозії плівкоутворювального типу, здатні утворювати на поверхні, що захищається, бар'єр з молекул, які запобігають контакт металу з корозійно-агресивним середовищем. Особливість сучасних марок інгібіторів корозії - це порівняно тривалий термін захисту металу - від декількох днів до тижнів.

Завдяки утворенню на поверхні металу особливого бар'єра, що перешкоджає проникненню іонів до металу агресивного середовища, інгібітори корозії змінюють кінетику електрохімічних реакцій і тим самим забезпечують тривалий захист і збереження металів.

При цьому способі їх наносять на внутрішню поверхню резервуарів у вигляді нафтових розчинів, які періодично розпилюються із спеціальних апаратів. У газоповітряному середовищі ці плівки, час від часу поновлювані, можуть забезпечити захист металу протягом 1-2 тижнів, після чого захисна плівка інгібітора має відновитися.

Технологія використання інгібіторів полягає в наступному. На внутрішню поверхню даху і верхніх поясів наноситься 5 або 10 % розчин інгібітору та нафти шляхом розпилення нафти з інгібітором із форсунок. Покривши поверхню металу тонким шаром нафти, яка буде захищати від корозії поверхню металу до тих пір, поки рідина, що конденсується з газового простору, поступово її не змие. На це потрібен певний час (від одного до декількох місяців), після чого захисна плівка поновлюється.

Періодичність обробки встановлюється практично за допомогою контрольних корозійних зразків, що встановлюються на покрівлі і верхніх поясах резервуарів.

Слід зазначити, що цей спосіб захисту та консервування внутрішньої поверхні резервуарів придатний для обробки всієї внутрішньої поверхні сталевих резервуарів, які виведені в резерв в якості аварійних, або в резервуарах магістрального транспорту нафти, що експлуатуються в режимі так званої підключеної (буферної) ємності.

Періодична обробка внутрішньої поверхні резервуарів нафтою з інгібітором не тільки знижує їхню корозію, але й запобігає утворення всередині них вибухопожежонебезпечних сполук.

Для періодичного нанесення інгібіторів, інгібіторних композицій або плівкоутворюючих нафтових речовин використовують стаціонарні системи трубопроводів, розташованих усередині резервуарів. За допомогою спеціальних агрегатів готують нафтові суміші з інгібіторами і подають цю суміш розпиленням в газоповітряний простір резервуара. (5 – 10) тонн нафти достатньо для обробки покрівлі і верхніх поясів.

Зараз розроблені такі інгібіторні композиції, коли стінки резервуара можна тимчасово захистити на строк від 1 до 2-х років.

Перелік посилань:

1. Лісафін В. П. Проектування та експлуатація складів нафти і нафтопродуктів : підручник. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2006. 597 с.

**MATERIAŁY  
XV MIĘDZYNARODOWEJ NAUKOWO-  
PRAKTYCZNEJ KONFERENCJI**

**NAUKA: TEORIA I PRAKTYKA - 2019**

07 - 15 sierpnia 2019 roku

**Volume 7**

Przemysł  
Nauka i studia  
2019

## PRAWO

### Konstytucyjne prawo

Трофименко В.А. ГРОМАДСЬКИЙ КОНТРОЛЬ ЗА ДІЯЛЬНІСТЮ ПОЛІЦІЇ В УКРАЇНІ: СУЧАСНИЙ СТАН.....	42
---	----

## GOSPODARKA ROLNA

### Mechanizacja gospodarki rolnej

Рахатов Ә.С., Қодар Е.Т., Рахатов С.З., Ахметов Н.Х., Нұржан Д.Ж. АСТЫҚ ТАЗАЛАУ: КҮРІШ ДАҚЫЛЫН АЛҒАШҚЫ ӨНДЕУДІҢ ӨЗЕКТІ МӘСЕЛЕЛЕРІ.....	48
---	----

## NOWOCZESNE TECHNOLOGIE INFORMACYJNE

### Komputerowa inżynieria

Korniyenko B.Y. , Galai Y.O. , Galata L.P. CONSTRUCTION AND TESTING OF INFORMATION PROTECTION SYSTEM OF CORPORATE NETWORK .....	53
--	----

## TECHNICZNE NAUKI

### Automatyzowane systemy kierowania na produkcji

Ковальчук Г.О., Некрашевич О.В. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ НАФТОПОМПУВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ ЗА РАХУНОК АКУСТИКО-ЕМІСІЙНОЇ ОЦІНКИ СТАНУ ОБЛАДНАННЯ.....	56
--	----

## BIOLOGICZNE NAUKI

### Strukturalna botanika i biochemia roślin

Самбетова Р.Б., Нәгербек Ә.Д. ОТАНЫМЫЗДА ӨСІРІЛЕТІН ЖЫЛЫЖАЙ ҚИЯРЫНЫҢ ӨНІМДІЛІГІНІҢ ШЕГІН ЖӘНЕ ДЕ САПАСЫНЫҢ ЖОҒАРЫЛЫҒЫН ТАҢДАУ МЕН САРАЛАУ ҮШІН ЗИЯНДЫ ОРГАНИЗМДЕРГЕ ТӨЗІМДІ БОЛАТЫН ЖАҢА БУДАҢДАРЫН БАҒАЛАУ ТОБЫН ҰЙЫМДАСТЫРУ .....	62
--	----

### Fizjologia człowieka i zwierząt

Тасбулатова Г.С. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ШКОЛЬНИЦ 7-11 ЛЕТ, ПРОЖИВАЮЩИХ В СЕВЕРНОМ И ЮЖНОМ КАЗАХСТАНЕ .....	68
--	----

CONTENTS .....	75
----------------	----



## TECHNICZNE NAUKI

### Automatyzowane systemy kierowania na produkcji

Ковальчук Г.О.,

ст. викладач Некрашевич О.В.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» імені Ігоря Сікорського, Україна*

### ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ НАФТОПОМПУВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ ЗА РАХУНОК АКУСТИКО-ЕМІСІЙНОЇ ОЦІНКИ СТАНУ ОБЛАДНАННЯ

Оскільки характерними особливостями сучасних нафтопроводів є їх велика протяжність і значні об'єми pompування нафти, до основних проблем відносять забезпечення якісної експлуатації, ефективної роботи нафтопроводів і мінімізації шкоди для навколишнього середовища. Нафтопроводи потребують постійного контролю і заміни зношених ділянок. Основні магістральні нафтопроводи здебільшого не мають резервів, тому їх відмова призводить до збою постачання нафти і нафтопродуктів. Ремонт у встановлені терміни, а також попередження аварійних ситуацій належать до завдань державного значення.

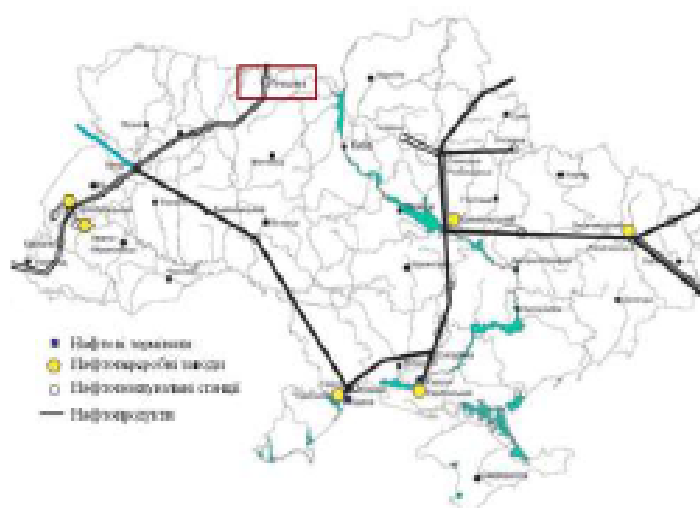


Рисунок 1 Схема системи магістральних нафтопроводів України

Актуальність досліджень. Система магістральних нафтопроводів України (рис. 1) налічує 18 нафтопроводів діаметром до 1220 мм загальною довжиною 3506,6 км (з одну нитку – 4767,1 км), нафтопомпувальні станції (НПС)

і морський нафтовий термінал (МНТ) “Південний”, резервуарні парки, системи електропостачання, захисту від корозії, телемеханіки, технологічного зв’язку, протипожежні та протикорозійні споруди тощо. Пропускна спроможність системи на вході – 114 млн. т/рік, на виході – 56,3 млн. т/рік [1]. За даними статистичних досліджень більшість аварій на нафтопроводах виникають внаслідок людського чинника (рис. 2):

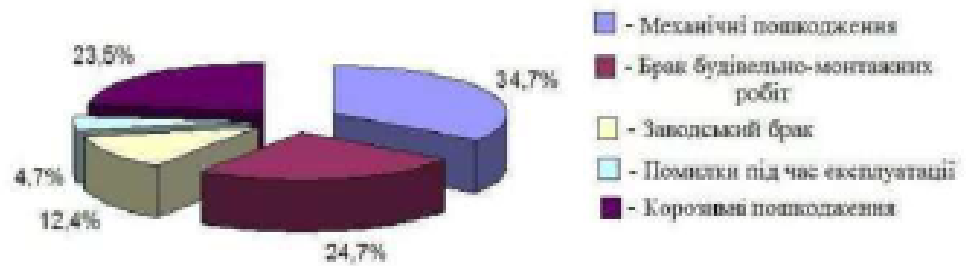


Рисунок 2 Розподіл причин аварій на магістральних трубопроводах у % від загальної кількості відмов

Значний відсоток (23,5 %) аварій відбувається через корозійні пошкодження труб, запірної і регулюючої арматури. Якщо усунути людський чинник, то за останніми статистичними даними майже 80% усіх відмов нафтопроводів зумовлено первинними корозійно-механічними пошкодженнями та утворенням і подальшим розвитком поверхневих тріщиноподібних дефектів у місцях корозійних каверн і зварних з’єднань [3, 4].

**Стан проблеми.** Термін експлуатації більшості нафтопроводів України перевищує 30-35 років, що спонукає до особливої уваги стосовно технічного стану їх обладнання. Для оцінки технічного стану складових елементів магістральних нафтопроводів і прийняття рішення про можливість їх подальшої безпечної експлуатації використовують різноманітні методи і засоби неруйнівного контролю (НК) [5]. Методика технічного діагностування зазначених об’єктів передбачає застосування методів НК комплексно, дозволяє у реальному режимі часу оцінити стан матеріалу об’єкта контролю (ОК), виявити найнебезпечніші механізми руйнування, а відтак, запобігти виникненню аварійної ситуації.

Розвиток тріщин (кріске руйнування) у матеріалі – процес непередбачуваний, пavidкоплинний, а тому найнебезпечніший щодо цілісності та безвідмовної роботи ОК. Існує низка підходів використання методу

акустичної емісії (АЕ) для побудови критеріїв і методик ідентифікування типів макроруйнування конструкційних матеріалів (крихке чи в'язке) на ранніх стадіях його розвитку та у будь-який момент часу експлуатації конструкції чи виробу за: енергією [6], амплітудними [7] та частотними характеристиками сигналів АЕ [8], найстійкішими параметрами АЕ-сигналів з урахуванням режимів вимірювального АЕ-тракту [9]. У більшості випадків для аналізу сигналів АЕ використовують перетворення Фур'є, яке не дає часової локалізації особливостей сигналів, що відповідають певним механізмам руйнування. Для кількісної оцінки типів руйнування конструкційних матеріалів запропоновано критеріальний показник на основі параметрів неперервного вейвлет-перетворення (НВП) у фіксований момент часу [10, 11].

Методика досліджень. Для обробки сигналів АЕ широко застосовують різні види вейвлет-перетворення, зокрема неперервне [12]. У результаті НВП одержують спектр коефіцієнтів кореляції сигналу з вейвлетом у вигляді поверхні у тривимірному просторі (рис. 3, а).

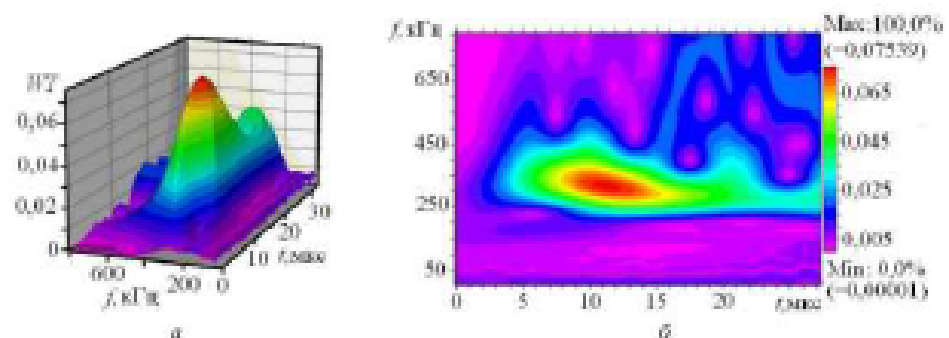


Рисунок 3 Результат НВП у вигляді тривимірної поверхні (а) та проекції спектра на площину з ізолініями (б)

На основі проекції спектра на площину з ізолініями (рис. 3, б) можна прослідкувати зміну коефіцієнтів на різних масштабах у часі, а також виявити локальні екстремуми структури досліджуваного процесу. Великі значення вейвлет-коефіцієнтів означають наявність у сигналі значних флуктуацій у даний момент часу і одночасно хорошу відповідність огинаючого сигналу і вейвлета. Чим сильніше виражена особливість сигналу, тим більше вона виділяється на спектрограмі і тим вищий рівень вейвлет-коефіцієнтів [13].

У дослідженнях для побудови неперервного вейвлет-перетворення сигналів АЕ використали програмний пакет AGU-Vallen Wavelet [14], в якому за материнський обрано вейвлет Габора.

Враховуючи властивості максимальних значень вейвлет-коефіцієнтів та результати експериментальних досліджень, запропоновано критерій оцінювання типів макроруйнування матеріалів за основними характеристиками неперервного вейвлет-перетворення сигналів АЕ [10, 11].

На основі обчислення критеріального параметра

$$k = WT_{max} * \frac{\Delta f_0}{\Delta f}, \quad (1)$$

де  $WT_{max}$  – максимальне значення вейвлет-коефіцієнта;

$\Delta f$  – ширина смуги частот, що відповідає вейвлет-коефіцієнту;

$\Delta f_0$  – ширина робочої смуги АЕ тракту [9]

встановлюють тип макроруйнування, що відбувається у даний момент часу в ОК.

В основі методики випробувань елементів конструкцій, що враховує запропонований критерій, лежить така послідовність дій:

1) обрати тип первинного перетворювача (ПАЕ) та встановити його робочу смугу пропускання (для обчислення критеріального показника  $k$  покладемо ширину робочої смуги АЕ тракту  $\Delta f_0 = 0,4$  МГц, якщо ж смуга робочих частот вибраного ПАЕ відмінна від 2,0  $6,0 \leq f_0 \leq$  МГц, то під час обчислень необхідно врахувати поправковий множник);

2) вибрати місця встановлення ПАЕ на ОК з урахуванням зникання пружних хвиль АЕ в матеріалі;

3) здійснити відповідні налаштування АЕ-апаратури;

4) провести калібрування чутливості ПАЕ на ОК;

5) здійснити відбір АЕ-інформації під час роботи ОК або збудити в ньому пружні хвилі АЕ за регламентованими відповідними ДСТУ чи іншими чинними галузевими документами;

6) побудувавши НВП сигналу АЕ, визначити характеристики, що входять до складу критеріального параметра  $k$ ;

7) за залежністю (1) обчислити кількісне значення критеріального параметра  $k$  і зіставити його з критеріями в'язкого ( $k < 0,1$ ), квазікрихкого ( $0,1 \leq k < 0,2$ ) чи крихкого ( $k \geq 2,0$ ) руйнування;

- 8) встановити тип руйнування в даний момент часу з урахуванням навантаження чи деформації об'єкта контролю;
- 9) визначити місце знаходження джерела, що згенерувало зареєстровану подію АЕ;
- 10) прийняти рішення щодо розмірів та орієнтації тріщиноподібного дефекту за відомими аналітичними залежностями або оцінити об'ємну пошкодженість локалізованого об'єму руйнування;
- 11) оформити протокол випробувань даного ОК.

**Висновки.** У роботі запропоновано методику випробувань виробів та елементів конструкцій, яка передбачає ідентифікування типів руйнування конструкційних матеріалів на ранніх стадіях його розвитку та у будь-який момент часу експлуатації ОК. Застосування запропонованого критерію оцінки типів руйнування конструкційних матеріалів за параметрами вейвлет-перетворення сигналів АЕ під час діагностування обладнання нафтопомпувальної станції дало змогу виявити сигнали зі значення критеріального параметра, що відповідає крихкому руйнуванню. А це означає, що ОК мав дефект, який під час додаткового навантаження розвивався. Враховуючи ступінь небезпеки такого явища, за результатами перевірки іншими методами НК дефектне місце трубопроводу замінили придатним до експлуатації елементом.

#### Література

1. Укртранснафта. – <http://www.ukrtransnafta.com/ua/>.
2. Андрусак А. В. Аналіз і причини відмов на нафтопроводі та фактори, які впливають на їх експлуатацію / А. В. Андрусак // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2008. – № 4. – С. 83–85.
3. Особливості корозії та корозійно-механічного руйнування тривало експлуатованих сталей магістральних трубопроводів / О. І. Звірко, З. В. Слободян, О. Т. Циркульник та ін. // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2007. – № 2. – С. 81–86.
4. Дмитрах І. М. Вплив корозійних середовищ на локальне руйнування металів біля концентраторів напружень / І. М. Дмитрах, В. В. Панасюк. – Львів: ФМІ НАНУ, 1999. – 341 с.